

Proyecto de fin de carrera

Máster Universitario en Ingeniería de automoción

Diseño y construcción de máquina para fabricar disipador de temperatura para vehículos solares de competición

Memoria

Autores: Camilo Ortiz Zuñiga – Pablo Morán Pereiro

Director: Ricard Bosch Tous

Convocatoria: Octubre 2018



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resumen

El sector de la automoción no ha dejado de crecer en los últimos años. Se trata de uno de los sectores más importantes a nivel industrial en todo el mundo y está a punto de sufrir un cambio radical: la sustitución de los tradicionales motores de combustión por motores eléctricos.

Este es un proceso que evidentemente no ocurrirá de golpe, pero si será algo inevitable. Con las cada vez más restrictivas normativas sobre emisiones contaminantes todas las grandes compañías de vehículos en los próximos años irán implementando variantes híbridas de sus vehículos de manera progresiva y hasta la sustitución total por vehículos eléctricos. Partiendo de esa base nace la idea principal de este proyecto: contribuir al cambio que se avecina.

Este proyecto se centra en vehículos eléctricos que obtienen su energía de radiación solar. Se trata de la segunda fase de un proyecto que tiene como finalidad la creación de un disipador de energía para paneles solares con la finalidad de mejorar su eficiencia. Aparte de su directa implicación hacia empresas orientadas a la obtención de energía fotovoltaica este proyecto busca la fabricación de un dispositivo que sea sencillo y liviano de manera que pueda adaptarse a los paneles solares portátiles de automóviles.

Este documento describe el diseño y la construcción de una máquina que de forma automática fabrica el disipador de calor descrito anteriormente. El objetivo es que se trate de una máquina que esté orientada a la fabricación industrial de este producto.

Este ha sido un proyecto que se ha llevado a cabo para la empresa Phineal SA (Santiago de Chile) y se centra en el diseño, fabricación, montaje y entrega del prototipo.

Índice

Resumen	1
Índice	3
Índice de figuras.....	4
Índice de tablas.....	5
1 Motivación.....	6
1.1 Carrera solar de Atacama	6
1.2 El cambio en la automoción	7
2 Introducción	8
2.1 Objetivos del proyecto.....	8
2.2 Análisis previo.....	9
2.2.1 El origen del proyecto	9
2.2.2 El disipador	9
2.2.3 Metodología y planificación temporal	10
3 El diseño	13
3.1 Descripción de la máquina.....	13
3.2 Secuencia de doblado base.....	14
3.3 Análisis estructural.....	16
3.4 Conjunto inferior y estructural	21
3.4.1 Estructura inferior y superior, perfiles y tapas	21
3.4.2 Rodillos.....	24
3.4.3 Sistema motor-polea.....	27
3.5 Conjunto superior	29
3.5.1 Secuencia de doblado del prototipo	29
3.5.2 Subsistema para movimiento vertical de las matrices	31
3.5.3 Subsistema para movimiento lateral de las matrices.....	33
3.5.4 Subsistema del punzonador.....	37
3.6 Sistema de control	38
3.7 Información adicional	41
3.7.1 Presupuesto	41
3.7.2 Requerimientos para el montaje del prototipo	42
3.7.3 Impacto medioambiental	42

3.8	La máquina 2.0	44
4	Conclusiones	47
5	Bibliografía	51

Índice de figuras

Figura 1:	Camilo Ortiz en carrera solar atacama	6
Figura 2:	Renderizado del disipador	10
Figura 3:	vista isométrica de diseño solidworks	11
Figura 4:	Frame del video de montaje de la máquina	11
Figura 5:	Foto del prototipo montado	12
Figura 6:	renderizado del conjunto superior sin tapas	13
Figura 7:	Esquema elementos doblado	14
Figura 8:	secuencia doblado 1	14
Figura 9:	Secuencias doblado 2 y 3	15
Figura 10:	Secuencias doblado 4 y 5	15
Figura 11:	Secuencias doblado 6 y 7	15
Figura 12:	Estructura principal en ansys	16
Figura 13:	apoyo de rodillo SolidWorks	17
Figura 14:	apoyo de rodillo ansys	18
Figura 15:	apoyos de conjunto superior solidworks	18
Figura 16:	Apoyos conjunto superior ansys	18
Figura 17:	Fuerzas para simulación ansys	19
Figura 18:	Resultados de tensión ansys	20
Figura 19:	detalle de tensión máxima	20
Figura 20:	Deformación máxima	21
Figura 21:	Perfil cuadrado estructura inferior	22
Figura 22:	Estructura inferior	22
Figura 23:	Perfil rectangular conjunto superior	22
Figura 24:	Estructura superior	22
Figura 25:	Tapa trasera conjunto superior	23
Figura 26:	Tapa lateralconjunto superior	24
Figura 27:	Rodillos del conjunto superior	25
Figura 28:	Rodillos y separadores	26
Figura 29:	Separador de rodillo	26
Figura 30:	elemento de apoyo a rodillos	27
Figura 31:	Rodillo serie 3500 y motor instalados en prototipo	28
Figura 32:	Tensionador de polea	28
Figura 33:	Detalle de estructura de sujección de nema 34	29
Figura 34:	Renderizado del conjunto superior	29
Figura 35:	Secuencia real de doblado steps 1-4	30
Figura 36:	Secuencia de doblado real steps 5-7 y reinicio de secuencia	31

Figura 37: Matrices de doblado y su estructura.....	31
Figura 38: Conjunto-1 y varillas sosteniendo estructura de matriz	32
Figura 39: El conjunto-1	33
Figura 40: Sistema de movimiento vertical y soporte de las matrices.....	34
Figura 41: parte posterior de conjunto-1	34
Figura 42: Conjunto polea-loca y sensor de posición	35
Figura 43: Eje y poleas fijas	36
Figura 44: Motor que controla el eje de poleas fijas	36
Figura 45: Subsistema del punzonador	37
Figura 46: Subsistema del punzonador en la máquina.....	38
Figura 47: Datos del PLC de Mega de Controllino	39
Figura 48: Posiciones de sistemas de control	40
Figura 49: Elementos para albergar HMI y seta de emergencia.....	40
Figura 50: Renderizado del conjunto superior, prototipo-2	44
Figura 51: elemento de soporte adicional en el medio del eje poleas.....	45
Figura 52: Nuevo soporte y cojinete para eje poleas.....	45
Figura 53: Conjunto superior sin estructura de perfiles	46
Figuras 54 y 55: Pablo y Camilo trabajando sobre estructura conjunto superior	47
Figura 56: Foto con prototipo-1 terminado	48
Figura 57: Renderizado del proceso de doblado	49

Índice de tablas

Tabla 1: Propiedades de acero s235.....	17
Tabla 2: Compras realizadas en europa.....	41

1 Motivación

1.1 Carrera solar de Atacama

La razón por la que se eligió hacer este proyecto nace de una competición de vehículos eléctricos solares que se desarrolla en Latinoamérica: la carrera solar de Atacama.



FIGURA 1: CAMILO ORTIZ EN CARRERA SOLAR ATACAMA

En esta competición debes fabricar tu propio vehículo. Hay dos categorías en esta competición, vehículos que utilicen únicamente energía solar y vehículos híbridos que obtengan energía de tracción humana (pedales) y energía solar. La prueba tiene actualmente un total de 2500 km que deben recorrerse en un total de 7 días.

A raíz de esta competición, donde el desafío principal es el diseño de un vehículo eficiente, nace motivación de querer diseñar un dispositivo que mejore la eficiencia de los paneles solares.

1.2 El cambio en la automoción

Es innegable que se aproxima un cambio radical en el sector de la automoción. El motor de combustión, que se lleva utilizando desde la invención del automóvil, está siendo sustituido de manera progresiva por el motor eléctrico.

Otro de los grandes impulsores que ha tenido este proyecto ha sido la idea de contribuir a este cambio, aportando una idea que permita la mejora en el sector del vehículo eléctrico.

El campo de los coches solares es uno de los menos explorados, debido a las innumerables dificultades (coste, energía deficiente, implementación en países húmedos...). No se espera en un futuro próximo una gran inversión en este tipo de energía. Precisamente por eso con este proyecto se pretende realizar una aportación ingeniosa que permita avanzar en el campo, así como motivar a futuros ingenieros a continuar la investigación en una posible fuente de energía para los vehículos.

2 Introducción

2.1 Objetivos del proyecto

- Hacer del proyecto una contribución a la mejora de la electromovilidad de los vehículos solares de competición y que pueda ser utilizado posteriormente en instalaciones fotovoltaicas.
- Diseñar un sistema automático para plegado de papel de aluminio en aletas, teniendo en mente la fabricación a escala industrial.
- Sistema que permita diferentes distancias entre aletas y diferentes anchos de papel.
- Realización de 3D de la máquina mediante SolidWorks.
- Uso del máximo posible de piezas ya existentes (de catálogo).
- Selección de piezas y materiales que se encuentren en Chile (Evaluar el mercado).
- Compra de los materiales necesarios para el montaje del prototipo.
- Impresión 3D de todas las piezas de PLA-ABS.
- Montaje de la máquina en Chile para entrega a la empresa Phineal.
- Compra de máquina de impresión 3D para fabricación de piezas.
- Realización de un renderizado del montaje/desmontaje del prototipo.
- Plazo de finalización de montaje Marzo del 2018.
- Plazo de corrección de sistema de la máquina hasta Junio de 2018.

2.2 Análisis previo

2.2.1 *El origen del proyecto*

El origen del proyecto se debe a una tesis presentada en la universidad Santa María de Chile (USM), sede Valparaíso, donde se demostró en conjunto con la empresa Phineal y la Universidad que si se pegaba un papel de aluminio plegado de una forma especial, éste lograba disminuir un 5% la temperatura de un panel fotovoltaico, actuando como disipador de calor y ayudando a la eficiencia del mismo panel.

Para esa tesis se diseñó y creó una máquina totalmente manual que lograba plegar el papel. Fue ganadora de una primera fase de un concurso patrocinado por el Gobierno de Chile a través de CORFO, una agencia del gobierno para el apoyo al emprendimiento y la innovación. La empresa Phineal SA, con sede en Santiago de Chile, fue la empresa que encargó y costó el proyecto

En la segunda fase del concurso, que es la que trata este proyecto, se pide que se fabrique un prototipo que produzca el mismo disipador pero que pueda hacerlo de manera automática, para comenzar a estudiar la viabilidad de la fabricación a escala industrial del disipador.

2.2.2 *El disipador*

La idea desde el principio era hacer un disipador liviano, sencillo y de fácil aplicación. De esta forma se busca la oportunidad en poder producir un disipador útil y que puede aplicarse a cualquier panel solar incluso después de haberlo fabricado.

Con esto en mente se diseñó un disipador de papel de aluminio, ya que se trata de un material que facilita el intercambio de calor, pesa poco y es barato. El diseño consiste en sencillamente doblar el papel de aluminio para que tenga forma aleteada:

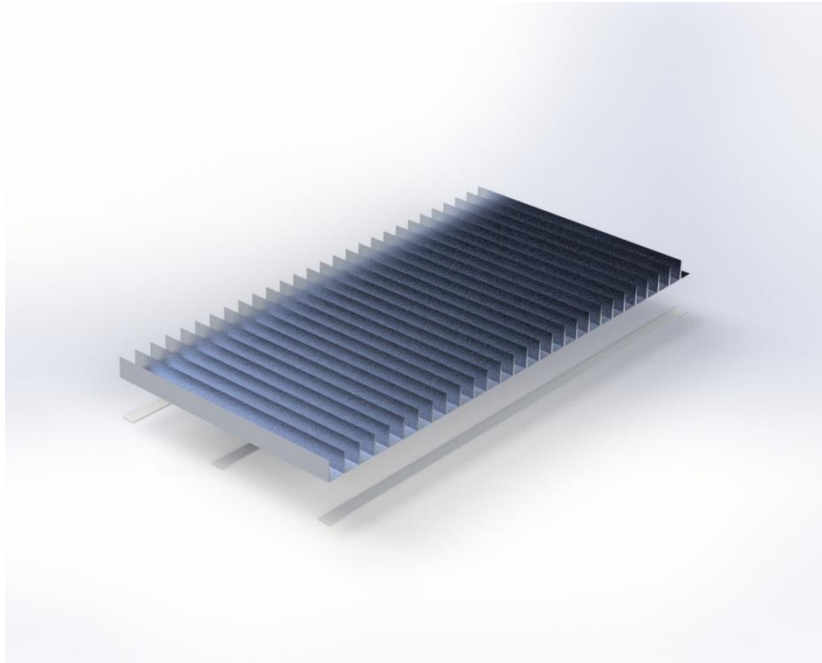


FIGURA 2: RENDERIZADO DEL DISIPADOR

Las aletas maximizan la capacidad de disipar calor del panel solar. La idea es que el panel solar transfiere el calor al papel de aluminio, y éste al tener una forma aleteada transmite el calor al exterior con más facilidad. Para aplicarlo a los paneles solares simplemente se utiliza una lámina de pegamento de doble fase de 25 mm de espesor. Así, con una cara la lámina se pega al papel de aluminio y con la otra se adhiere al panel solar por su parte trasera.

En la anterior tesis se demostró que este disipador consigue reducir la temperatura de operación del panel solar sobre un 5%, mejorando directamente el rendimiento del mismo. Técnicamente con la posibilidad de fabricar paneles de disipador de diferentes tamaños éste se podría adaptar para cualquier panel solar sin necesidad de haberlo tenido en cuenta en el diseño de los propios paneles solares.

2.2.3 Metodología y planificación temporal

Una vez establecido el concepto de la máquina a diseñar se realizó una planificación en el tiempo desde el inicio de la fase de diseño hasta la construcción final del prototipo. Esta línea temporal ha estado marcada en su mayor parte por los límites impuestos por la empresa Phineal, que a su vez dependía de los límites impuestos en el concurso de Corfo:

- *Fase de diseño:* El concepto de este proyecto ya comenzó desde la primera fase del concurso de Corfo. El diseño en SolidWorks de la máquina comenzó en el verano de 2017, coincidiendo con el momento en que se adquirió el hardware necesario para la realización del mismo. Como meta para la finalización de esta fase se estableció el 15 de Septiembre del 2017.

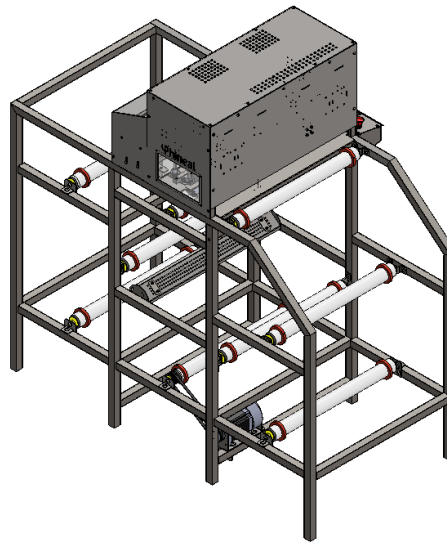


FIGURA 3: VISTA ISOMÉTRICA DE DISEÑO SOLIDWORKS

- *Fase de renderizado:* Una vez finalizada la fase de diseño comenzó la fase de renderizado. El objetivo de esta fase era realizar un vídeo del montaje de la máquina paso por paso, asegurando que sería un video de la última versión de diseño del prototipo. El límite de esta fase se estableció para mediados de Marzo de 2018.



FIGURA 4: FRAME DEL VIDEO DE MONTAJE DE LA MÁQUINA

- *Fase de montaje del prototipo:* Uno de los objetivos principales de este proyecto era que no solo habría que diseñar la máquina sino que además habría que fabricar el prototipo a escala real.

Para ello se planificó un viaje a Chile para realizar esta tarea, concretamente entre el 12 de Octubre y el 5 de Noviembre del 2017. El límite por tanto para esta fase sería el 5 de Noviembre para la parte principal de la máquina, asumiendo que los ingenieros de la empresa Phineal podrían a partir de esta fecha realizar algunas modificaciones.



FIGURA 5: FOTO DEL PROTOTIPO MONTADO

- *Fase de correcciones:* Desde el final de la fase de montaje y hasta Marzo de 2018. Durante esta etapa se prestaría apoyo a los ingenieros de Phineal en lo referente al montaje del prototipo en base a la experiencia adquirida durante el montaje de la máquina. Además, en caso de encontrar algún defecto de diseño se procedería a diseñar las necesarias correcciones.
- *Fase de control y calibración:* desde Marzo de 2018 a Junio de 2018. En esta fase se procedería a montar la instalación eléctrica y de control del prototipo, así como la calibración de la secuencia de doblado. Esta fase correría a cargo de los ingenieros de Phineal.

Cabe decir que para este proyecto Phineal SA solicitó el diseño mecánico y montaje del prototipo, pero no pidió ni el sistema de empaquetado final del producto ni el diseño del algoritmo de control. A pesar de ello la máquina ha sido dimensionada de manera que pudiese soportar en sus rodillos un peso combinado de 100 kg (que consistiría en un rollo de producto final, contando que agotó todo el rollo de papel de aluminio y todo el rollo de pegamento doble fase) y se han tenido en cuenta recomendaciones de un ingeniero eléctrico de la empresa para dimensionar espacios para el sistema eléctrico y de control.

3 El diseño

3.1 Descripción de la máquina

A partir de la secuencia de doblado previa se diseña desde el verano de 2017 el concepto de la máquina que produce los disipadores. El diseño de la máquina se ha realizado con el programa SolidWorks 2016.



FIGURA 6: RENDERIZADO DEL CONJUNTO SUPERIOR SIN TAPAS

La máquina tiene unas dimensiones de aproximadamente 1480 mm x 1438 mm x 830 mm y pesa alrededor de 130 kg (sin contar los 50 kg de rollo de papel de aluminio y 50 kg de rollo de pegamento doble fase).

Se trata de un primer prototipo para la fabricación a nivel industrial del disipador. Se ha tenido como consideración que la máquina sea capaz de producir disipador de diferentes anchos (limitados por el ancho de la propia máquina) y con diferentes espaciados entre aletas (limitados por el tamaño de las matrices).

El sistema de alimentación de material base consistirá en un rollo de papel de aluminio y un rollo de pegamento de doble fase situados en dos de los rodillos en la parte inferior de la máquina.

Para el diseño de la máquina se realizó una estructura de nombramiento para las diferentes partes, conjuntos y piezas que la contenían. Esta estructura se basaba en una letra inicial, 5 números y la revisión. De esta manera se podía identificar correctamente que versión de la pieza era, y se podía tener una trazabilidad del diseño.

La P era utilizada para todas las piezas de la máquina (P00001.A01) la C era utilizada para todos los ensamblajes (C00001.A01) y la M era utilizada como conjunto principal de ensamblaje (M0001.A01).

3.2 Secuencia de doblado base

El proceso de doblado del papel de aluminio fue lo primero que se diseñó. Se realizó un pequeño croquis con los movimientos básicos que debería realizar la máquina para aletear el papel de aluminio.

El esquema simplificado consta de papel de aluminio, un punzonador y dos mallas o matrices de material plástico:

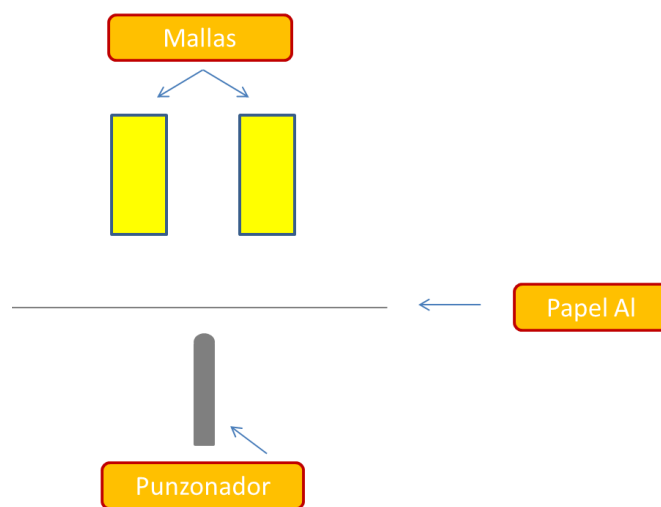


FIGURA 7: ESQUEMA ELEMENTOS DOBLADO

La secuencia de doblado se desarrolla de la siguiente forma:

1. En primer lugar se acercan las matrices a el papel de aluminio.

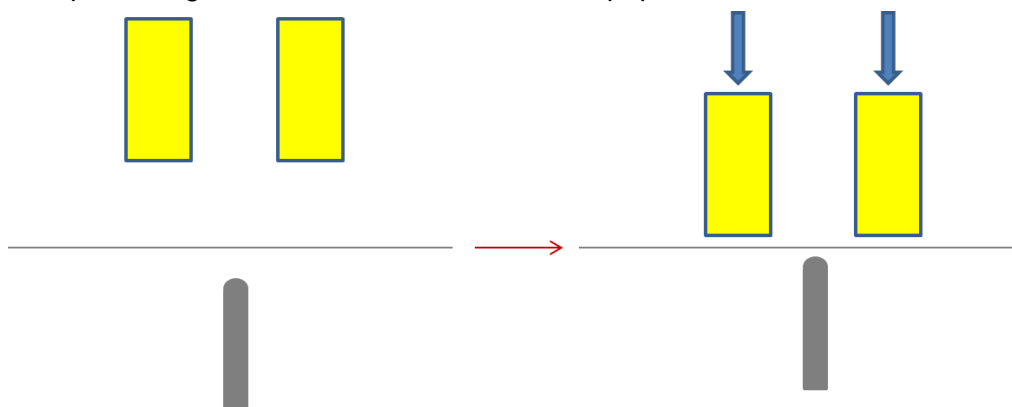


FIGURA 8: SECUENCIA DOBLADO 1

2. El punzonador asciende, hasta la altura de aleta necesaria de aleta.

3. Las matrices se aproximan para comprimir el papel de aluminio.

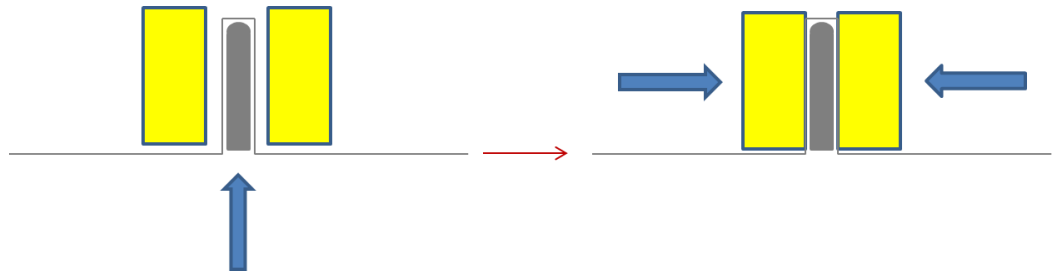


FIGURA 9: SECUENCIAS DOBLADO 2 Y 3

4. El punzonador desciende. Las matrices al haberse aproximado en el anterior paso impiden que el papel de aluminio deslice.
5. Las matrices se aproximan para comprimir y doblar el papel de aluminio en forma de aleta

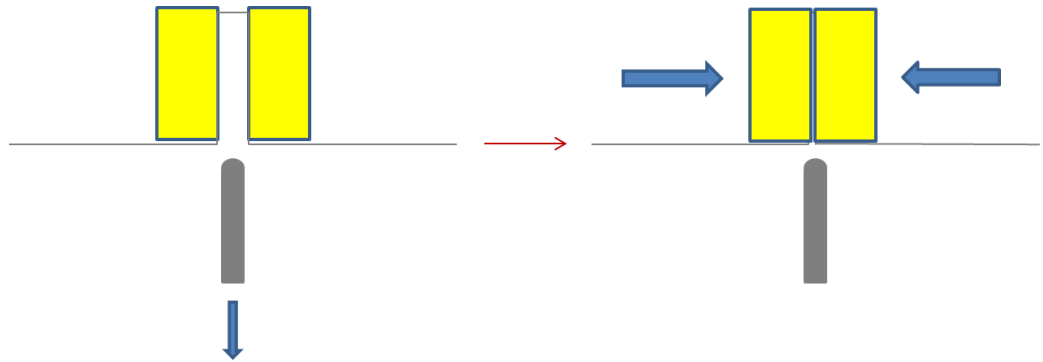


FIGURA 10: SECUENCIAS DOBLADO 4 Y 5

6. Las matrices se separan del papel de aluminio y vuelven a su posición original

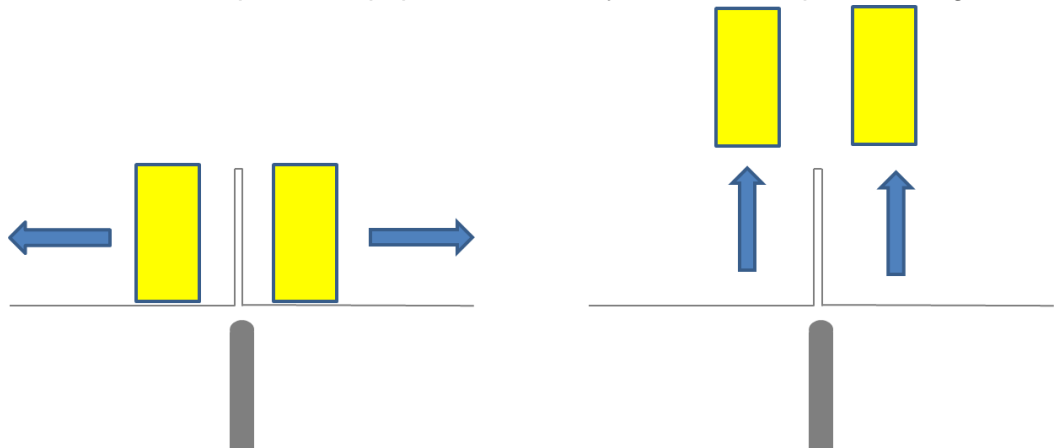


FIGURA 11: SECUENCIAS DOBLADO 6 Y 7

Después de estos pasos el papel de aluminio se desliza hacia la derecha, en concreto la distancia que se estipule entre aletas de disipador. Entonces comenzaría de nuevo la secuencia de doblado.

3.3 Análisis estructural

La intención de este proyecto es crear un prototipo de una máquina industrial. Por tanto desde el principio se ha pretendido crear un conjunto estructural que tenga como mínimo un coeficiente de seguridad de 3 para garantizar tanto la seguridad de la máquina y de los operarios como que no habrá problemas con futuras modificaciones de la máquina.

Con este propósito se ha realizado un análisis estático de la estructura principal y de las cargas más importantes a las que se va a someter.

Utilizando el programa Ansys (Workbench 19.0) se realizó un modelado de la estructura principal, añadiéndole las cargas más significativas:

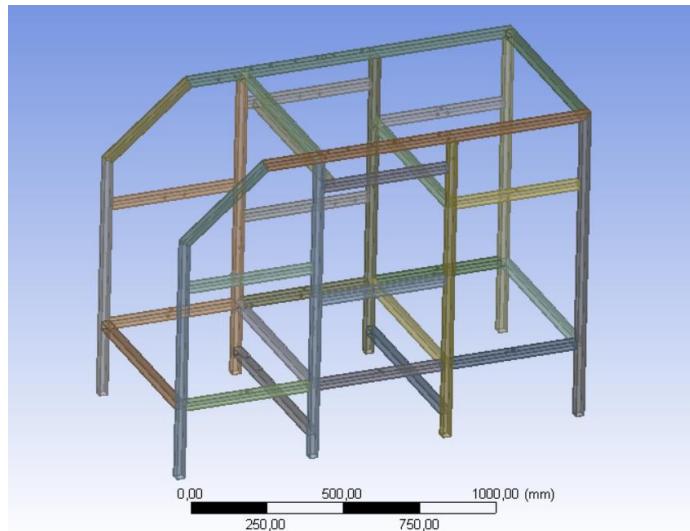


FIGURA 12: ESTRUCTURA PRINCIPAL EN ANSYS

Estas cargas son el peso del rollo de papel de aluminio de 50 kg, repartido en dos apoyos casi puntuales; el peso de los 50 kg de papel de doble fase, con efecto similar; el peso del posible rollo de disipador completado, que sería de 100 kg también en dos apoyos; y el peso de todo el conjunto superior, que es de unos 52 kg repartidos en 6 apoyos.

Las propiedades del material en cuanto a tensión de fluencia y tensión última se adoptaron del material que se utilizaría en el prototipo, acero s235:

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

TABLA 1: PROPIEDADES DE ACERO S235

Para los apoyos de los rollos de papel de aluminio, pegamento doble fase y de disipador la pieza que aguantará el peso será uno de los perfiles de la estructura principal, y el área de aplicación vendrá dado por la siguiente pieza:

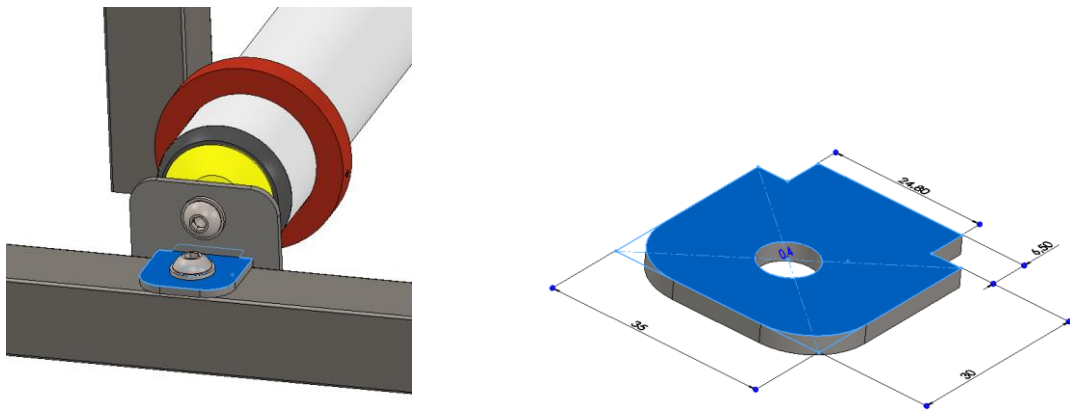
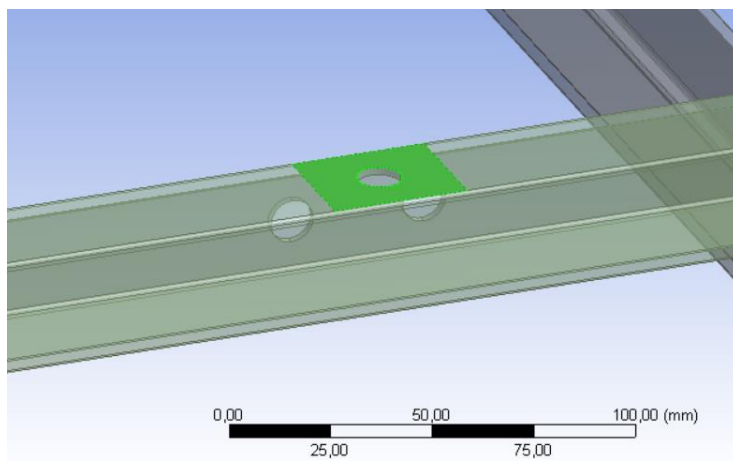
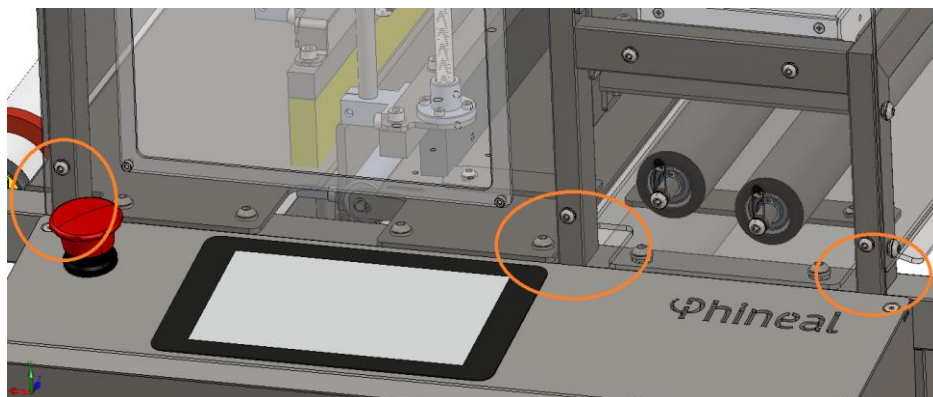


FIGURA 13: APOYO DE RODILLO SOLIDWORKS

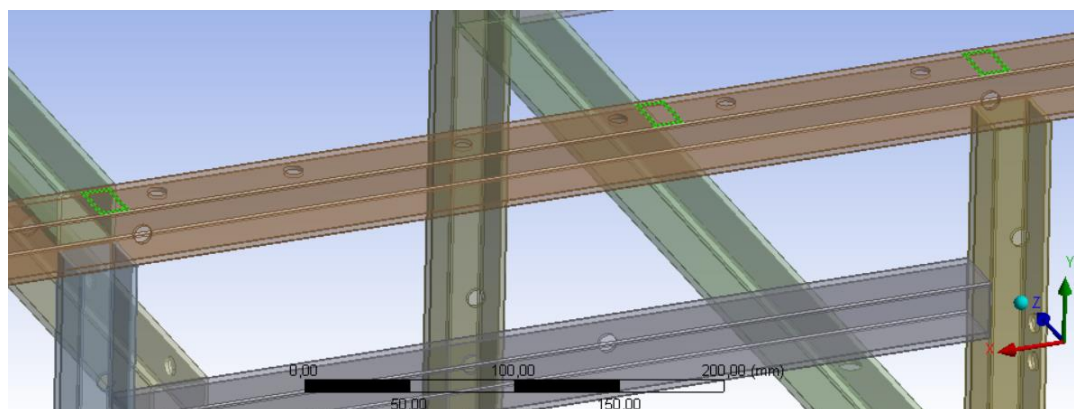
Para la simulación a Ansys se ha realizado una simplificación de esta pieza, considerando que la superficie de aplicación de la fuerza es un cuadrado de 35x35 mm, incluyendo el orificio que alberga el tornillo:

**FIGURA 14: APOYO DE RODILLO ANSYS**

Para las zonas de aplicación de carga del conjunto superior se utilizó la misma área de aplicación y en las mismas posiciones pero sin contar con los redondeos del perfil:

**FIGURA 15: APOYOS DE CONJUNTO SUPERIOR SOLIDWORKS**

Se utilizaron por tanto como áreas de aplicación de las fuerzas 6 cuadrados huecos de 25 mm x 15 mm y de 2 mm de espesor:

**FIGURA 16: APOYOS CONJUNTO SUPERIOR ANSYS**

Las fuerzas a aplicar se han calculado a partir de los pesos descritos al principio de este apartado, siempre redondeando hacia arriba y considerando una fuerza de gravedad de 10g. Se han añadido además 10 N considerando el peso de los rodillos. De esta manera habrá 3 tipos de fuerzas distribuidas de la siguiente forma:

- Fuerza para apoyo de aluminio y de pegamento: 260 N
- Fuerza para combinado aluminio y pegamento: 510 N
- Fuerza para los apoyos del conjunto superior (C44): 87 N

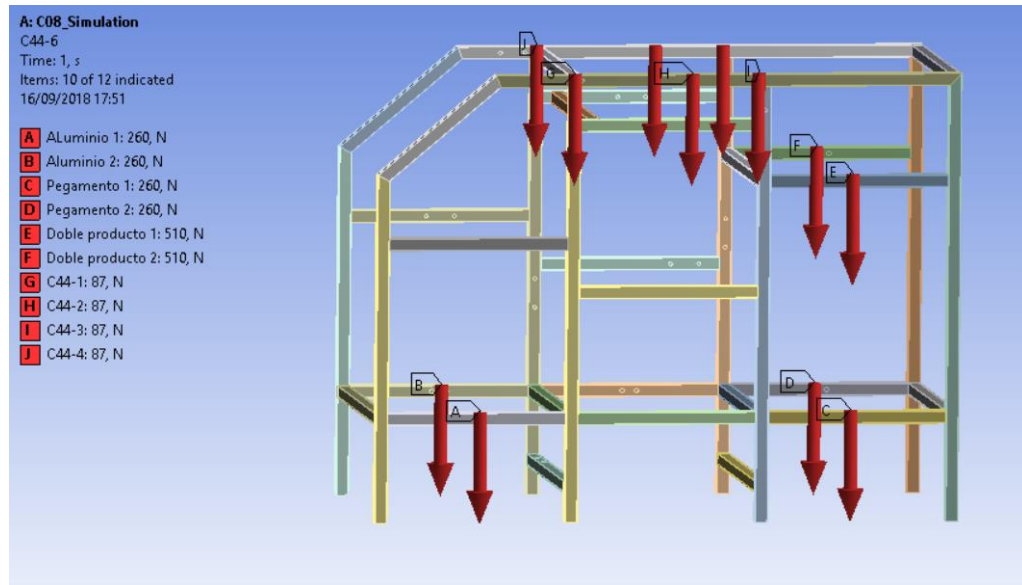


FIGURA 17: FUERZAS PARA SIMULACIÓN ANSYS

Como resultado de la simulación se obtuvo una máxima tensión de aproximadamente 29 MPa, concretamente en la zona que más carga soporta que es el rodillo que aguantaría de todo el papel de aluminio y todo el pegamento doble fase, lo que frente a un límite de fluencia de 235 MPa que tiene el material que se utiliza nos da un coeficiente de seguridad de aproximadamente 8,1.

El resultado que se obtuvo con el programa puede verse gráficamente en las siguientes figuras:

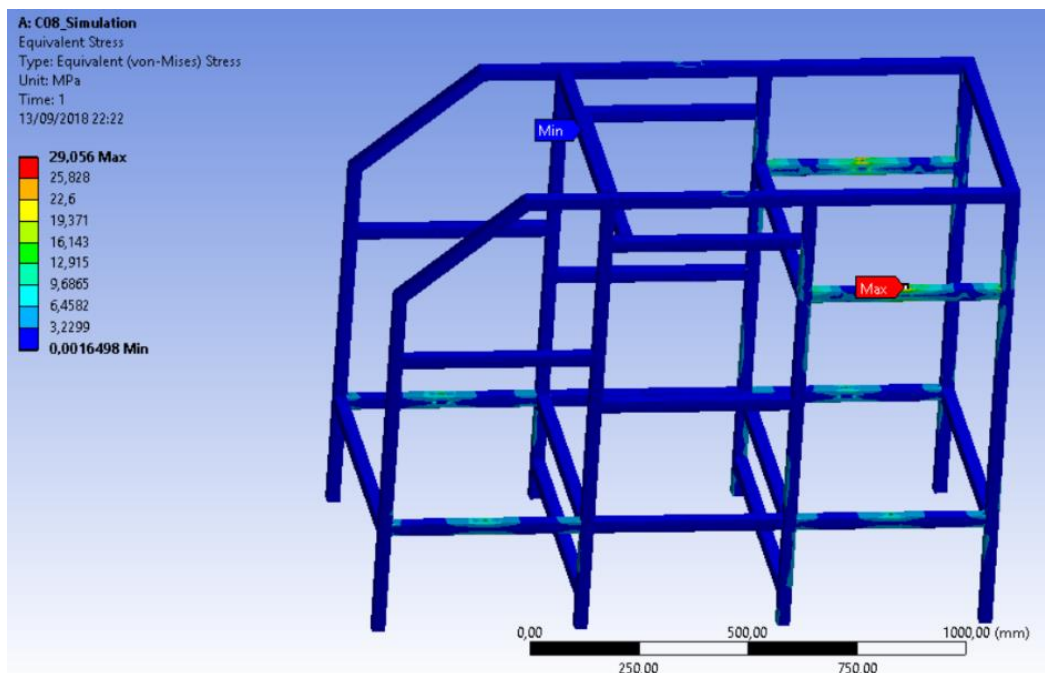


FIGURA 18: RESULTADOS DE TENSIÓN ANSYS

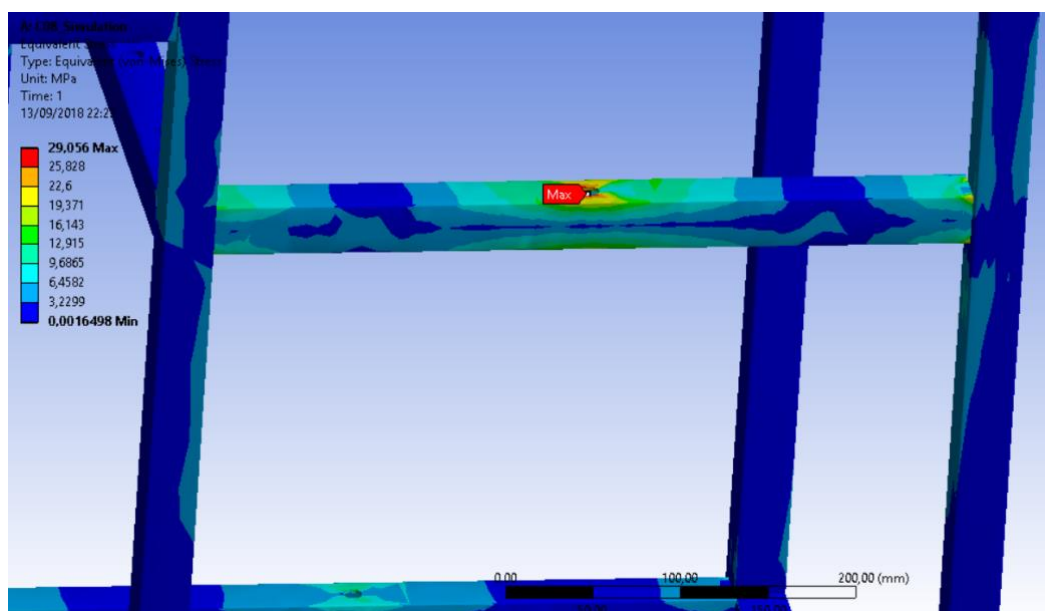


FIGURA 19: DETALLE DE TENSIÓN MÁXIMA

Además para esta simulación también se calculó la deformación total que tendría la estructura si se la somete a esas cargas:

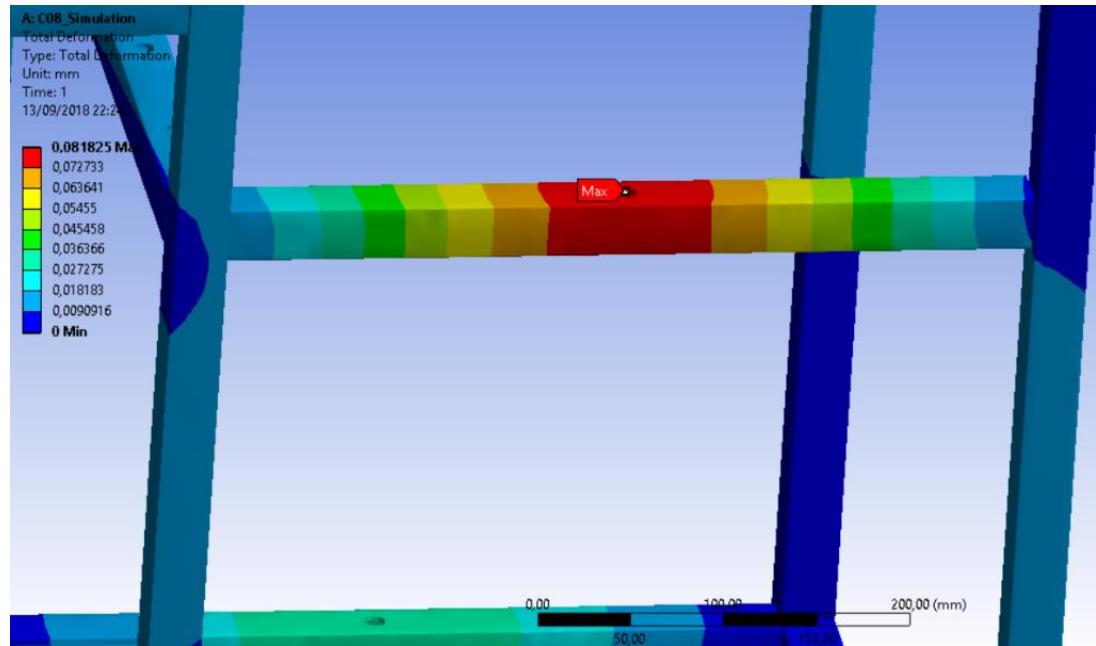


FIGURA 20: DEFORMACIÓN MÁXIMA

Como puede verse en la figura anterior la máxima deformación de todo el conjunto es de tan solo 0,08 mm, algo de acorde al alto coeficiente de seguridad que tiene la máquina.

3.4 Conjunto inferior y estructural

3.4.1 Estructura inferior y superior, perfiles y tapas

Esta máquina pretende albergar un espacio para almacenar los rollos de material base, la zona de doblado, el sistema de alimentación de material y todo el sistema de control electrónico.

Todo esto debe estar basado en una estructura principal, cuya finalidad es soportar el peso de los diferentes elementos. Como se dijo al principio de esta memoria una de las máximas que persigue este proyecto es el uso en lo posible de todos los elementos estándar posibles, para evitar fabricar elementos que ya están inventados y así ahorrar en coste y garantizar facilidad a la hora de encontrar piezas de recambio. Por ello para elaborar la estructura soporte de la máquina se ha utilizado dos tipos de perfiles de acero rectangulares:

- Perfil cuadrado 30x30x2 mm para la estructura inferior
- Perfil rectangular 25x15x2 mm para la estructura superior

La estructura inferior utiliza el perfil cuadrado, y es la que soportará todo el peso de la máquina. Las diferentes uniones entre perfiles se han realizado con soldadura MIG.

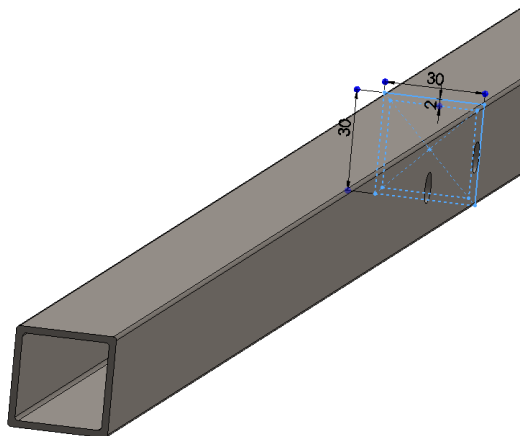


FIGURA 21: PERFIL CUADRADO ESTRUCTURA INFERIOR

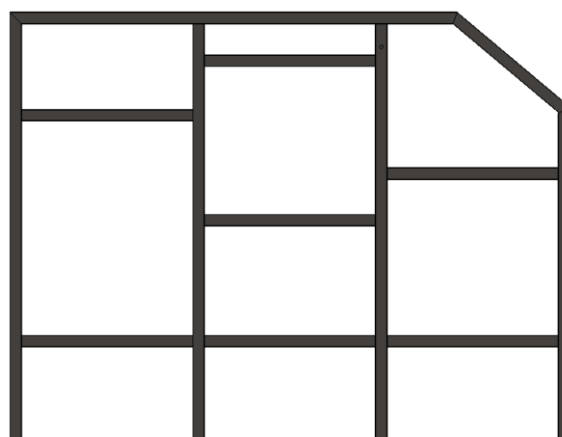


FIGURA 22: ESTRUCTURA INFERIOR

Para la estructura superior, que soporta mucho menos peso, se utilizó el perfil rectangular más pequeño. La estructura superior será el soporte principal del conjunto superior, pero a diferencia del conjunto inferior no resistirá el peso de los elementos directamente, si no que será el apoyo para las chapas del conjunto. Estas chapas de 2 mm de espesor son donde se apoyarán los diferentes elementos del sistema de doblado y están atornilladas a la estructura principal del conjunto.

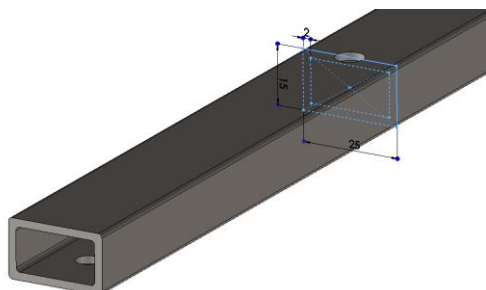


FIGURA 23: PERFIL RECTANGULAR CONJUNTO SUPERIOR

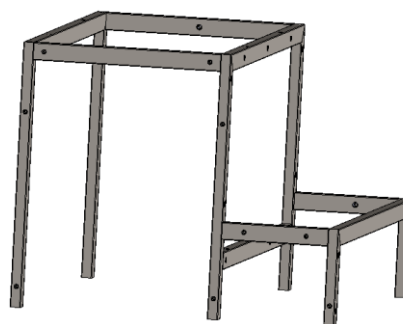


FIGURA 24: ESTRUCTURA SUPERIOR

En la imagen a continuación podemos ver un detalle del conjunto superior con la tapa trasera sobresaltada, de manera que pueden verse los elementos que se apoyan en ella:

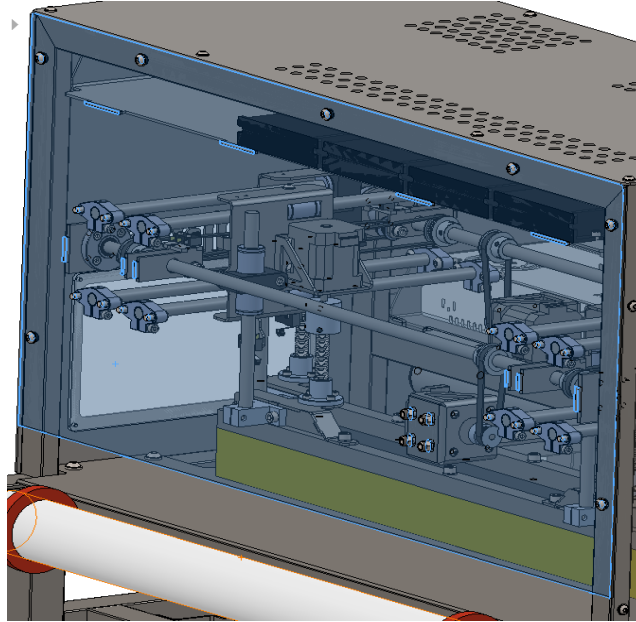


FIGURA 25: TAPA TRASERA CONJUNTO SUPERIOR

El conjunto superior, al ser el que alberga la parte más compleja y delicada de la máquina, está diseñado de manera que encierre todos los elementos móviles del mismo. De esta forma se garantiza la seguridad a la hora de operar la máquina.

Tanto el panel frontal como el trasero de este conjunto tienen función estructural. En la imagen anterior también se puede apreciar que en la parte superior hay una chapa con numerosos agujeros de ventilación que sirve para cubrir la parte del control de la máquina y también puede verse otra chapa que sostiene estos elementos. Además la parte inferior está abierta pero también tiene chapas de cobertura.

Las tapas laterales cumplen también una función estructural, ya que hacia uno de sus extremos soportan dos rodillos que sirven para tensar de nuevo el producto final una vez doblado.

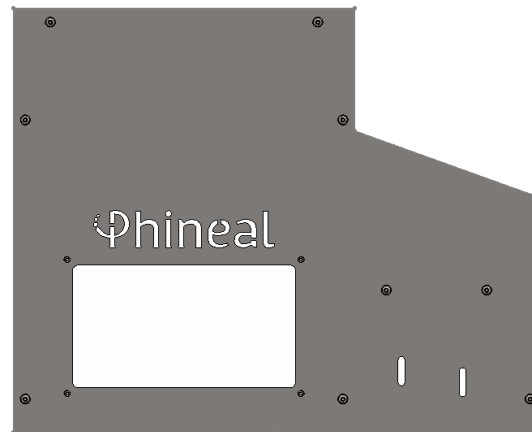


FIGURA 26: TAPA LATERALCONJUNTO SUPERIOR

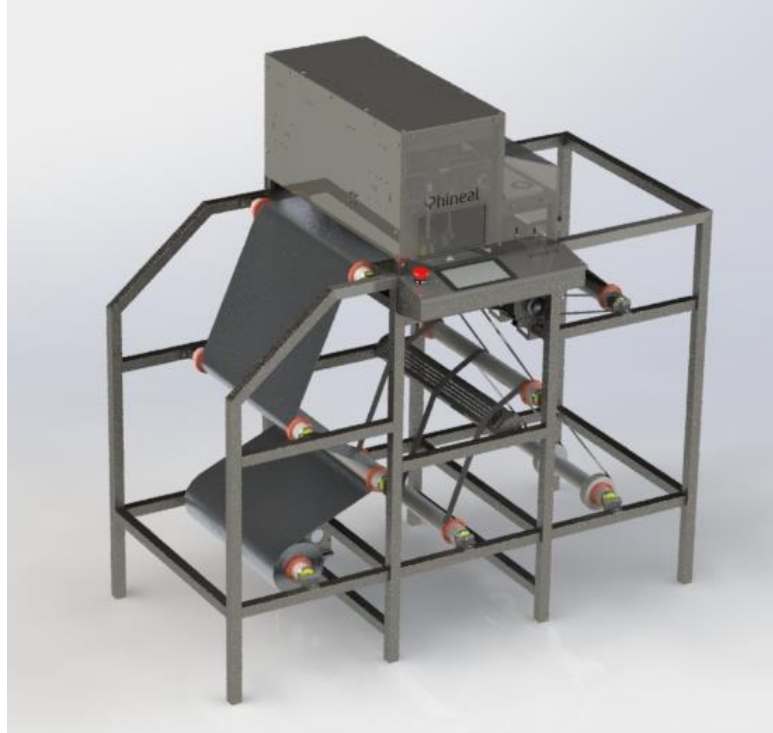
Puede no parecer algo importante, pero al tener prácticamente todos los elementos chapa una función estructural y al encerrar todo el conjunto de elementos móviles provocan que los elementos móviles estén casi a oscuras. La tapa lateral dispone también de una ventana de material plástico transparente, que impide que se pueda acceder a las partes móviles pero permite el paso de luz, permitiendo además que se pueda supervisar el correcto funcionamiento del proceso.

En la parte inferior se realizó un diseño preliminar de tapas de cobertura, para que de forma similar al conjunto superior se impidiese el acceso a la máquina mientras está funcionando. Al final considerando que aún se realizarían más cambios en la máquina y que hasta que todo el sistema de control estuviese a punto y calibrado estas tapas no serían necesarias, no se llegaron a fabricar para el prototipo.

3.4.2 Rodillos

Los rodillos se utilizan para alimentar el papel de aluminio desde el rollo de papel hasta la zona de doblado. El sistema de rodillos está pensado para, de forma similar a una máquina que fabrica papel, dar una cierta tensión al papel de aluminio y al pegamento doble fase para poder distribuirlo de manera eficaz.

A continuación se muestra una ilustración en la que se ve el recorrido que realizan tanto el papel de aluminio como el pegamento doble fase:



La idea original era diseñar también los rodillos, de forma similar a dos rodillos que se encuentran en el conjunto superior, utilizando tubo metálico, rodamientos y una pieza diseñada con impresión 3D de PLA:

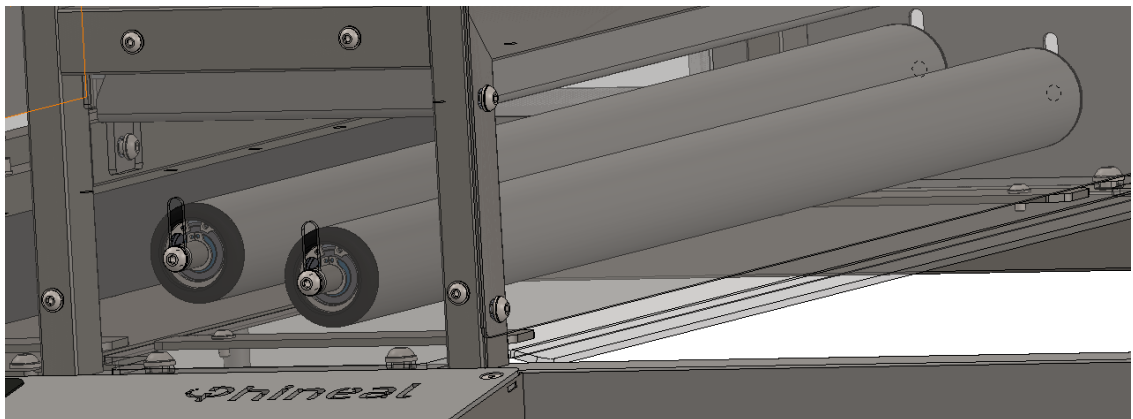


FIGURA 27: RODILLOS DEL CONJUNTO SUPERIOR

Estos rodillos demostraron dar buenos resultados, sin embargo considerando que algunos rodillos deben resistir 50 kg (o incluso 100 kg) se buscó una solución más eficiente. Para ello se utilizaron rodillos transportadores Interroll, similares a los que se utilizan en compañías aéreas para el transporte de maletas.

Se utilizaron 2 tipos de interroll, la serie 1700 como base (aguantan un peso máximo de hasta 3000 N cada uno) y la serie 3500 con rosca para polea poly-v para los dos cilindros accionados por un sistema motor-polea.

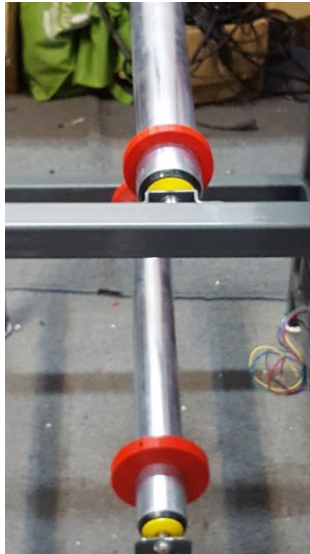


FIGURA 28: RODILLOS Y SEPARADORES

Los rodillos disponen unos separadores de color rojo. Estos separadores se fabrican por impresión 3D y tienen el tamaño justo para que no se desplacen con demasiada facilidad pero sí sea posible moverlos a lo largo del rodillo. La finalidad de estos separadores es dar una tolerancia en cuanto a posicionamiento al papel de aluminio y al pegamento doble fase a la hora de entrar en la zona de doblado y durante todo el recorrido de tensado.



FIGURA 29: SEPARADOR DE RODILLO

Los separadores incluyen dos orificios que roscados permiten que un tornillo sin cabeza pueda apretar la pieza al rodillo e impedir del todo el movimiento del mismo.

Aparte de los rodillos hay un elemento en la estructura inferior tiene por finalidad hacer de apoyo a éstos. Este elemento se diseñó para conseguir un ángulo menos abrupto entre los rodillos que transportan una de las tiras que cubren el pegamento doble fase. Se trata de una solución alternativa al uso de otro rodillo.

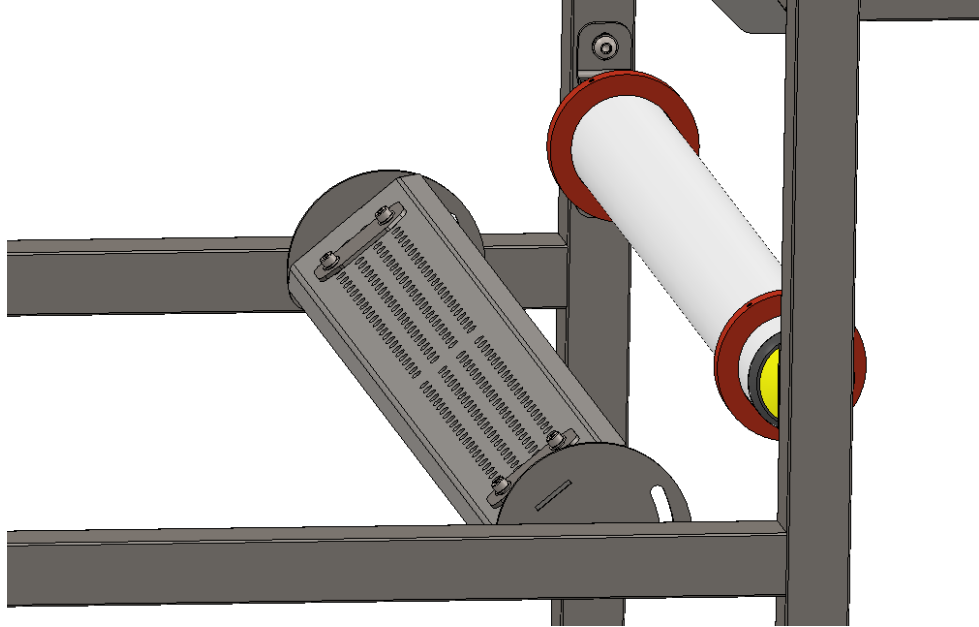


FIGURA 30: ELEMENTO DE APOYO A RODILLOS

La chapa principal de esta pieza se diseñó perforada para conseguir una menor fricción del papel de aluminio con el metal. Además este elemento puede regularse para conseguir diferentes ángulos de salida de material.

3.4.3 Sistema motor-polea

Dentro del conjunto de los rodillos hay dos que se encuentran enlazados con un motor paso a paso que garantiza el movimiento de los mismos. Estos dos rodillos serán los encargados de mover por un lado el papel de aluminio y por el otro lado el pegamento doble fase.

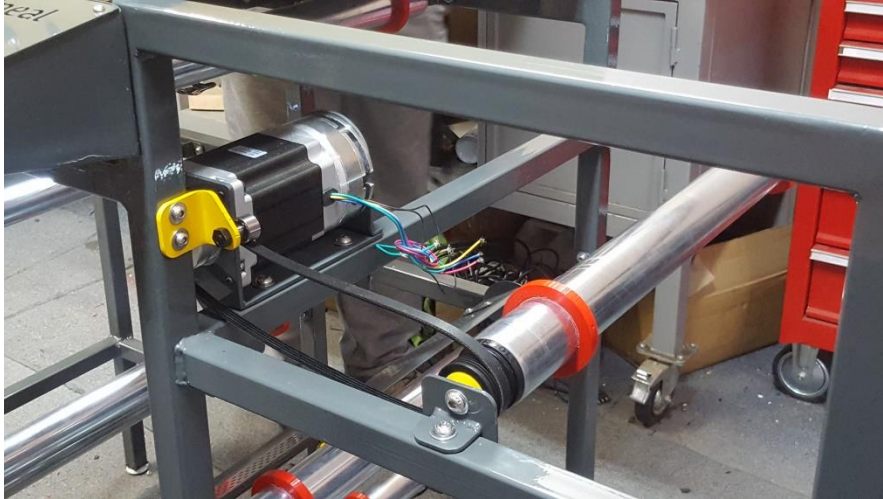


FIGURA 31: RODILLO SERIE 3500 Y MOTOR INSTALADOS EN PROTOTIPO

Se ha utilizado como motor un NEMA 34 para proporcionar el movimiento. Dentro del tipo de rodillos se escogió aquel que dispone de un final adaptado para correas de tipo poly-v trapezoidales. Se escogió una polea por catálogo de tamaño cercano a la distancia entre el eje motor y el eje del rodillo pero ligeramente superior. Es la manera indicada de hacerlo, ya que si fuese de tamaño inferior no podría abarcar la distancia y al ser superior solo hace falta un elemento tensionador para garantizar su correcto funcionamiento. Este elemento tensionador se diseñó para esta aplicación específica:



FIGURA 32: TENSIONADOR DE POLEA

Los motores están colocados en la posición necesaria apoyándose sobre una estructura especialmente diseñada para ello. El motor en sí mismo dispone de 4 roscas para poder fijarse a la estructura con tornillos.

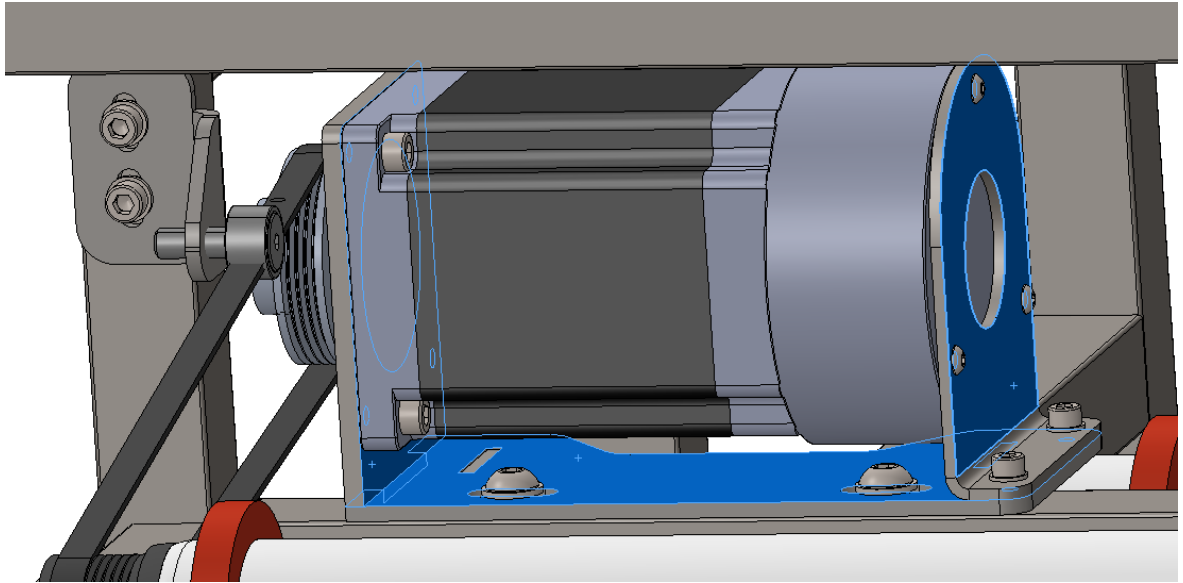


FIGURA 33: DETALLE DE ESTRUCTURA DE SUJECCIÓN DE NEMA 34

3.5 Conjunto superior

Se define como conjunto superior al conjunto de todos los subsistemas que dependen estructuralmente de los perfiles de acero rectangulares de 25x15 mm. También se nombrará como C00044 debido a su asignación de trazabilidad o cabezal superior.

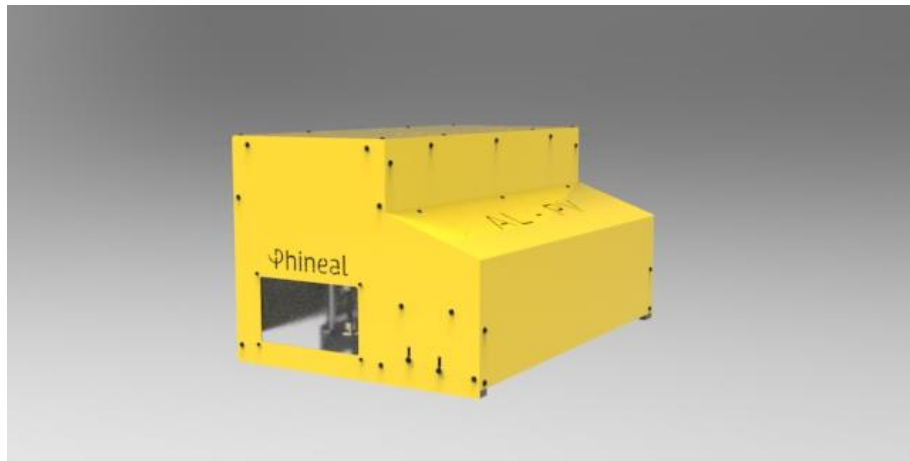


FIGURA 34: RENDERIZADO DEL CONJUNTO SUPERIOR

3.5.1 Secuencia de doblado del prototipo

A la hora de diseñar la secuencia de doblado se tuvo en cuenta la idea de partida explicada en el apartado de “secuencia de doblado base” de este proyecto. Para poder realizar los movimientos de las matrices había que diseñar un sistema que permitiese por un lado el movimiento vertical y por otro el movimiento horizontal. Estos subsistemas se explicarán en los apartados a continuación.

Por cuestiones de diseño en cuanto a interferencias entre diferentes subsistemas móviles y por cuestiones de practicidad la secuencia de doblado final que realiza la máquina varía ligeramente de la secuencia de doblado base planteada. A continuación se muestra la secuencia final que realiza la máquina:

La variación en los primeros pasos de doblado es que será una sola matriz la que marque el posicionamiento inicial y marque por donde doblar el papel de aluminio (Step 1 en la figura 35). Esto se hizo así para simplificar el algoritmo de control. Tampoco es necesario que la segunda matriz esté presente cuando actúe el punzonador (Step 2 en la figura 35) y así ganamos un poco de espacio, dándole libertad al papel de aluminio y minimizando la posibilidad de rotura del mismo.

La segunda matriz realizará en solitario el proceso de aproximación y apriete del doblado del papel de aluminio. De nuevo esto se ha cambiado para simplificar el algoritmo de control de la secuencia de doblado. En el step 3 (figura 35) la segunda matriz se aproxima poniéndose a la altura de la primera matriz. En el step 4 (figura 35) se retira el punzonador.

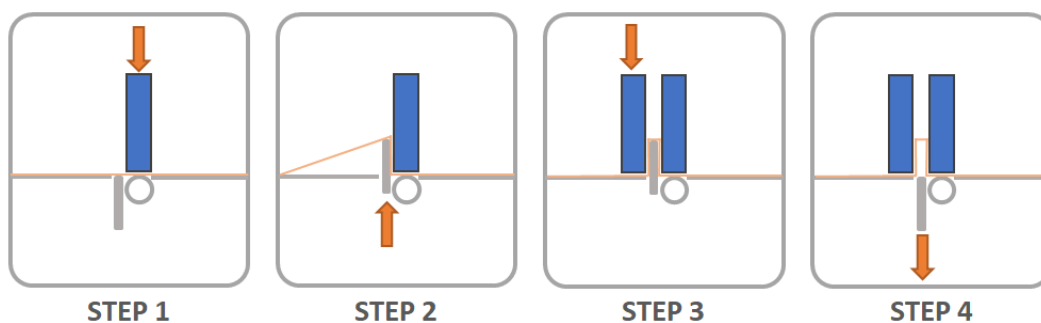


FIGURA 35: SECUENCIA REAL DE DOBLADO STEPS 1-4

En el siguiente movimiento (step 5 figura 36) es la segunda matriz la que en solitario realiza el apriete del doblado. En los siguientes movimientos, se levantan las dos matrices para dejar paso al papel de aluminio y preparar la siguiente posición donde se realizará una nueva aleta (steps 6 y 7 figura 36). Así terminaría la secuencia de doblado. Para el reinicio de la secuencia ya tenemos ambas matrices levantadas así que el próximo comienzo, step 1 de figura 36, ya se puede realizar sin problemas solo moviendo una de las matrices.

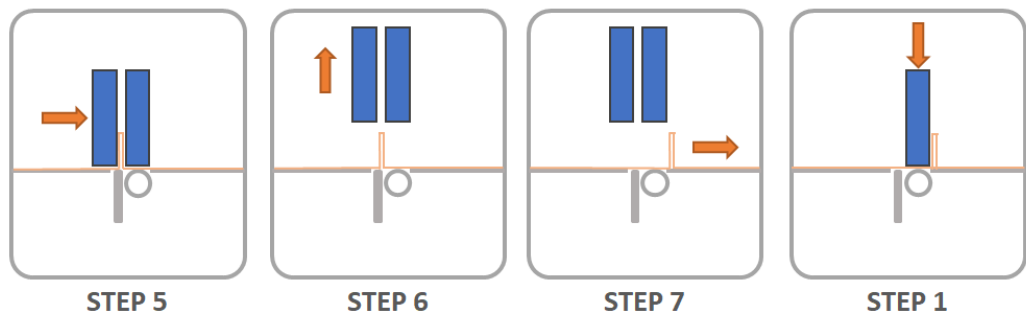


FIGURA 36: SECUENCIA DE DOBLADO REAL STEPS 5-7 Y REINICIO DE SECUENCIA

3.5.2 Subsistema para movimiento vertical de las matrices

Las matrices que realizan el doblado están sujetas a una estructura que está sometida tanto a movimientos laterales como horizontales. Los subsistemas que dan movimiento tanto vertical como horizontal a las matrices es la parte más sensible de todo el diseño, y en función de estos subsistemas ha sido construido todo el sistema estructural.

Las matrices están fabricadas con un material plástico y están sujetadas por una estructura que está directamente ligada a los subsistemas que aportan movimiento.

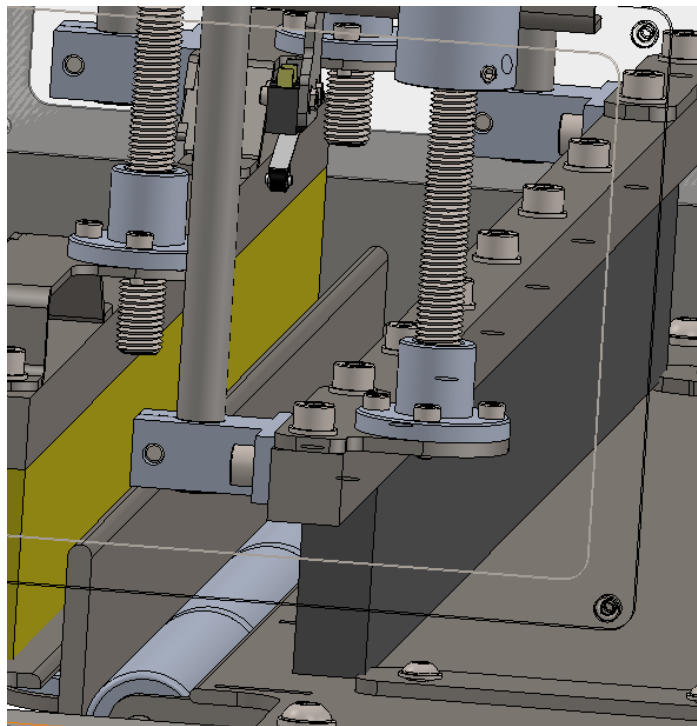


FIGURA 37: MATRICES DE DOBLADO Y SU ESTRUCTURA

La matriz está unida a su estructura metálica por medio de tornillos, que encajan en roscados que se realizaron previamente a la matriz.

En la imagen anterior a la derecha de la estructura metálica de la matriz podemos ver un elemento con forma cilíndrica. La matriz dispondrá de dos de estas piezas, una en cada extremo, que son soportes de rosca estándar de eje de 10 mm. Están roscadas en su interior, de manera que permiten el paso de una varilla de acero roscada de su misma medida. Este será uno de los soportes de la estructura que sujeta la matriz.

A la izquierda de la estructura de la matriz hay otra pieza estándar, un soporte SK10. Cumple una función similar a la anterior solo que sirven para agarrar una varilla lisa. Esta varilla lisa hará de guía para evitar que la matriz gire sobre sí misma.

De esta forma, cada matriz está sujeta por 2 apoyos, uno en cada extremo, y también dispone de dos guías, también en los extremos.

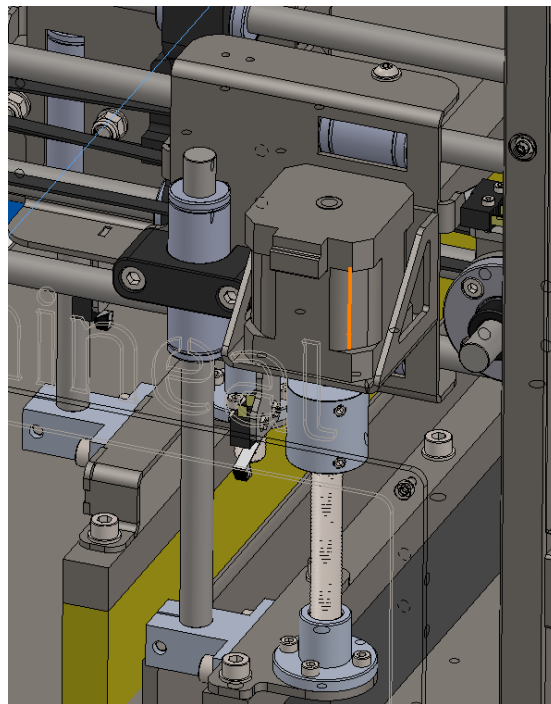


FIGURA 38: CONJUNTO-1 Y VARILLAS SOSTENIENDO ESTRUCTURA DE MATRIZ

Estas dos varillas van a dar a un mismo conjunto al que llamaremos conjunto-1 (el nombre se basa en el sistema de codificación de piezas que se utilizó durante todo el diseño de la máquina). Este conjunto-1 dispone de un motor paso a paso NEMA 17, que actúa sobre la varilla roscada a través de una copla motor, y de un cojinete lineal, que hace de guía para la varilla lisa.

Para sujetar el motor al conjunto-1 se diseñó una estructura metálica que dispone de 4 orificios roscados al igual que el propio motor y que permiten la unión entre estos elementos por medio de tornillos.

Para la sujeción del cojinete, la pieza principal de chapa del conjunto-1 dispone de un agujero rectangular del tamaño preciso para que el cojinete se apoye levemente. Para

terminar de sujetarlo se diseñó una pieza de impresión 3D (de color negro en la figura 34 de esta página) que se une a la pieza de chapa por medio de un sistema tornillo-tuerca.

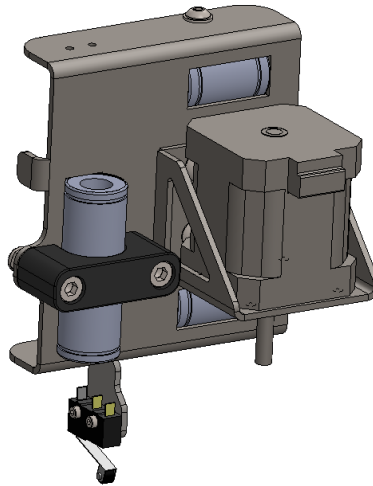


FIGURA 39: EL CONJUNTO-1

Como puede verse en la parte inferior del conjunto-1 hay una chapa metálica diseñada específicamente para sostener un sensor de posición. Se añadió este sensor como medida de seguridad, para que sirviese de apoyo de esta manera al algoritmo de control.

El movimiento vertical de la matriz estará a cargo del motor NEMA 17 del conjunto-1. Este motor actuando sobre la varilla roscada producirá el movimiento ascendente y descendente de la matriz.

Recordemos que cada matriz tiene como apoyo dos varillas roscadas, una en cada extremo, lo que significa que sobre cada matriz actuarán dos motores nema que deberán estar sincronizados para realizar el mismo movimiento. Esto hará un total de cuatro motores para el control del movimiento vertical de las dos matrices.

3.5.3 Subsistema para movimiento lateral de las matrices

Para realizar el movimiento lateral que realizan las matrices de doblado entran a funcionar varios subconjuntos. Estos subconjuntos actuarán sobre el anteriormente mencionado conjunto-1 que es el que está directamente unido a las matrices.

Los cuatro conjuntos-1 se sostienen con una serie de barras de acero lisas, repartidas de manera que cada dos barras sostienen un conjunto-1:

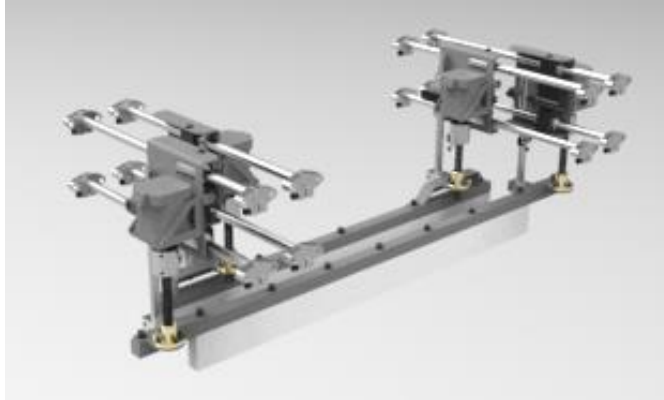


FIGURA 40: SISTEMA DE MOVIMIENTO VERTICAL Y SOPORTE DE LAS MATRICES

Para la fijación de las barras de acero a las dos chapas estructurales del conjunto superior se han utilizado las piezas estándar SHF10, aunque también se diseñó una pieza similar de impresión 3D.

Las barras de acero soporte están unidas a los conjuntos-1 en la parte posterior de los mismos, por medio de dos cojinetes lineales.

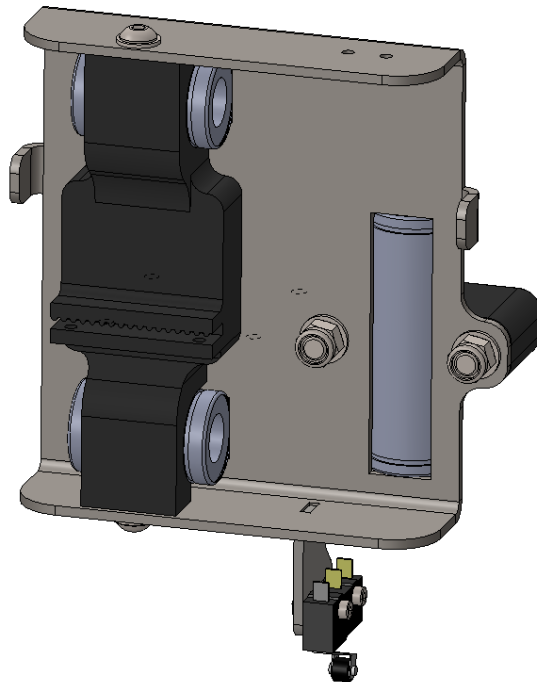


FIGURA 41: PARTE POSTERIOR DE CONJUNTO-1

Para dar movimiento a este conjunto en sentido horizontal se utilizan varios conjuntos polea-correa. Como puede verse en la imagen anterior, la pieza de PLA que hace de soporte para los cojinetes lineales de las barras soporte ha sido diseñada de manera que incluya una cremallera dentada en la que encajará la correa. Al producir con otros subsistemas movimiento en la correa, ésta desplazará al conjunto-1 debido al engrane que tiene con la pieza soporte de los cojinetes.

Cada conjunto-1 depende directamente de dos poleas que dan movimiento a la correa que engrana en la pieza soporte de los cojinetes.

Fijada a una de las chapas del conjunto superior se diseñó una estructura con chapa metálica que alberga un espacio para una polea loca, es decir, una polea que gira sobre un eje libremente. Esta misma estructura también tiene la finalidad de sujetar un sensor de posición que indica el fin de carrera para el movimiento lateral. La pieza estructural de chapa del conjunto-1 dispone de una pestaña con la que interfiere el sensor. A continuación, resaltado en azul, se muestra el conjunto que se acaba de describir.

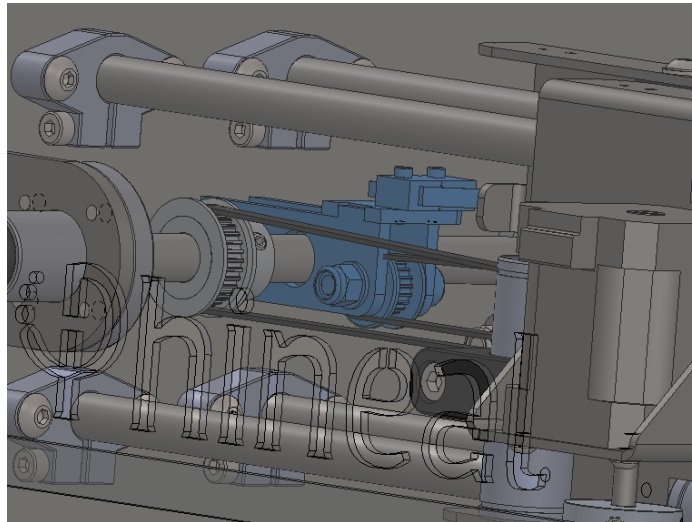


FIGURA 42: CONJUNTO POLEA-LOCA Y SENSOR DE POSICIÓN

En el otro extremo tendremos el conjunto que alberga la polea que da el par de movimiento lateral de las matrices. Se trata de un eje que va de lado a lado de cada una de las chapas estructurales del conjunto superior y dispone de dos poleas fijas que transmiten el movimiento a los conjuntos-1. Estas poleas no giran con respecto al eje sino que están solidarias al mismo y reproducen el mismo movimiento que realice el eje.

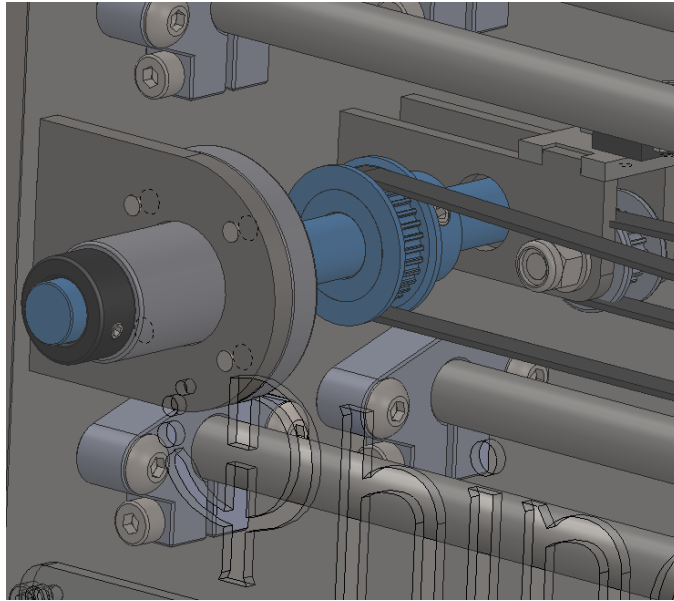


FIGURA 43: EJE Y POLEAS FIJAS

Para permitir el movimiento de giro el eje de acero se apoya sobre dos cojinetes en sus extremos, que están fijos a la chapa estructural del conjunto superior por medio de una pestaña como puede verse en la imagen anterior.

Este eje está unido directamente a un motor NEMA 17 por medio de otro sistema polea-correa. Hay un motor en cada chapa estructural del conjunto superior, controlando cada eje de las poleas fijas.

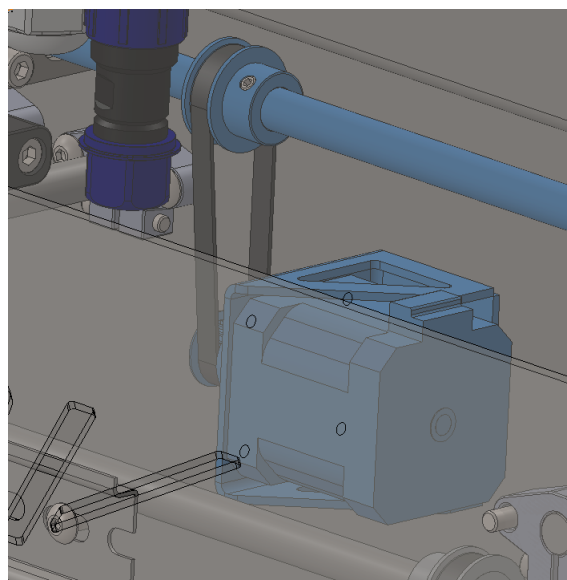


FIGURA 44: MOTOR QUE CONTROLA EL EJE DE POLEAS FIJAS

La estructura que sostiene este motor NEMA 17 está fija a la chapa estructural por medio de tornillos. El motor dispone de una polea que está fija a su propio eje y que actúa por medio de una correa sobre la tercera polea fija del eje descrito en los párrafos anteriores.

Así, este motor es el que controla todo el movimiento lateral de los conjuntos-1, actuando sobre el eje de poleas fijas que a su vez transmite el movimiento a los conjuntos-1. El diseño permite así que cada motor controle directamente una de las matrices.

3.5.4 *Subsistema del punzonador*

El último de los subsistemas móviles del conjunto superior es el que controla el movimiento del punzonador. A continuación se muestra una imagen de todo este subsistema, resaltando en azul la pieza que hace de punzonador.

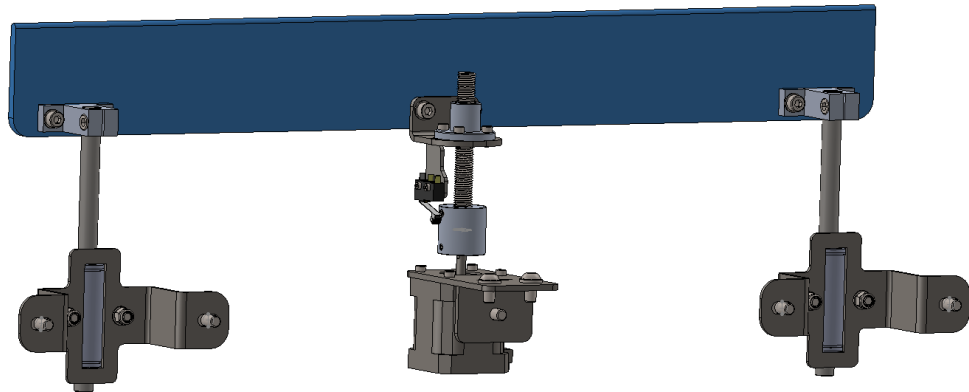


FIGURA 45: SUBSISTEMA DEL PUNZONADOR

El punzonador se diseñó de chapa metálica para darle la forma necesaria directamente por medio de corte láser, aunque también se valoró diseñar un punzonador retrabajando un material plástico. El punzonador está fijado directamente a una estructura móvil controlada por un único motor. Otra de las características del punzonador es que debe tener una punta redondeada para evitar cortar el papel de aluminio del disipador.

El sistema está controlado por un único motor NEMA 17 que actúa sobre una varilla roscada. Esta varilla roscada está unida al punzonador por medio de un soporte de eje roscado como el utilizado en los extremos de las matrices.

El movimiento se transmite al punzonador por el centro del mismo. Para evitar que haya rotación, se diseñaron unas estructuras en los extremos del punzonador que albergan cojinetes lineales. Unas varillas de acero que pasan por estos cojinetes harán de guía para evitar este movimiento de rotación.

A continuación se muestra una imagen de la posición del subsistema en la máquina:

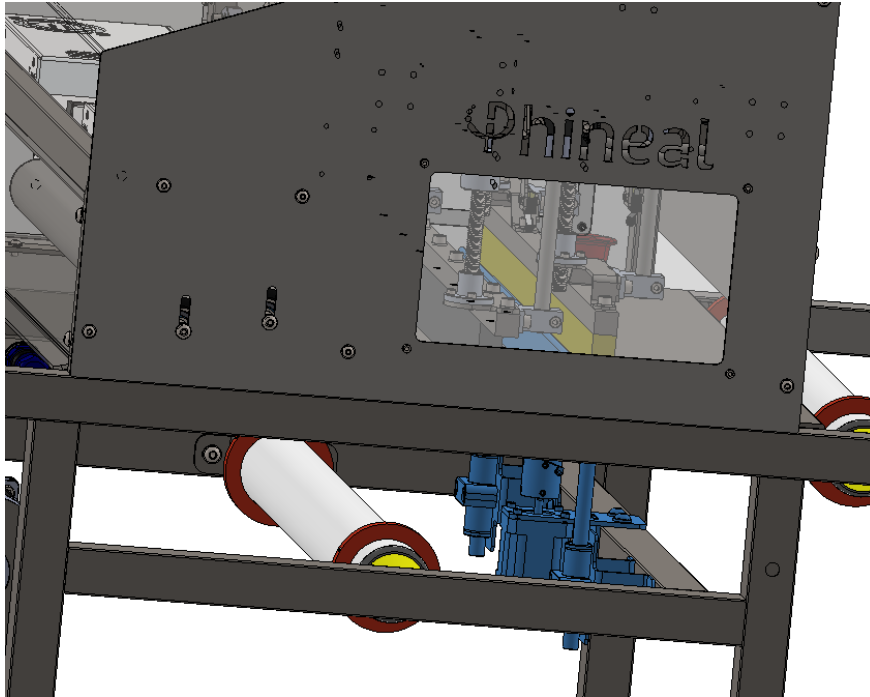


FIGURA 46: SUBSISTEMA DEL PUNZONADOR EN LA MÁQUINA

3.6 Sistema de control

El sistema de control de la máquina sería planificado por ingenieros eléctricos de la empresa Phineal tomando en cuenta el diseño de la máquina que se estaba realizando. Para controlar los diferentes motores había que instalar diferentes PLCs que controlarían los movimientos de los subsistemas.

Después de realizar un estudio de diferentes tipos de PLC se escogió el uso del PLC Mega de la empresa Controllino. Se trata de un tipo de PLC que está diseñado para albergar muchas entradas y salidas de señales, tanto analógicas como digitales. Para una secuencia compleja como la que va a controlar la máquina de este proyecto hacen falta precisamente numerosas entradas y salidas, así que con este tipo de PLC garantizamos la compra del mínimo de PLCs posibles.

Otra motivación para elegir este PLC ha sido la considerable diferencia en cuanto a precio para comprar equipos de PLC en Chile. Aparte de la practicidad de tener el mínimo número de PLCs posibles, debido a su elevado precio de compra en Latinoamérica esta solución se hace crítica también por temas de presupuesto.

CONTROLLINO MEGA

The technical data is as follows:

- Microcontroller: ATmega2560
- Clock Speed: 16 MHz
- RTC
- Ethernet Connector
- 2x serial Interface
- 1x RS485 Interface
- 1x I2C Interface
- 1x SPI Interface
- Input current Max. 30A
- 16x Relays Outputs – 230V / 6A
- 21x Analog/Digital Inputs
- 12x Digital Outputs – High Side Switch – 2A @12V or 24V
- 12x Digital Outputs – Half-Bridge – 2A @12V or 24V



FIGURA 47: DATOS DEL PLC DE MEGA DE CONTROLLINO

Se diseñaron en la máquina 2 espacios para albergar los PLCs y los diferentes drivers de los motores. A continuación se muestra una imagen donde se muestra la localización de los mismos, resaltando en azul las chapas que hacen de soporte. Las posiciones serán encima de la chapa que cubre los subsistemas móviles (parte superior figura 48) y en la parte frontal, debajo de la chapa de cobertura AL-PV (en blanco en la figura 48).

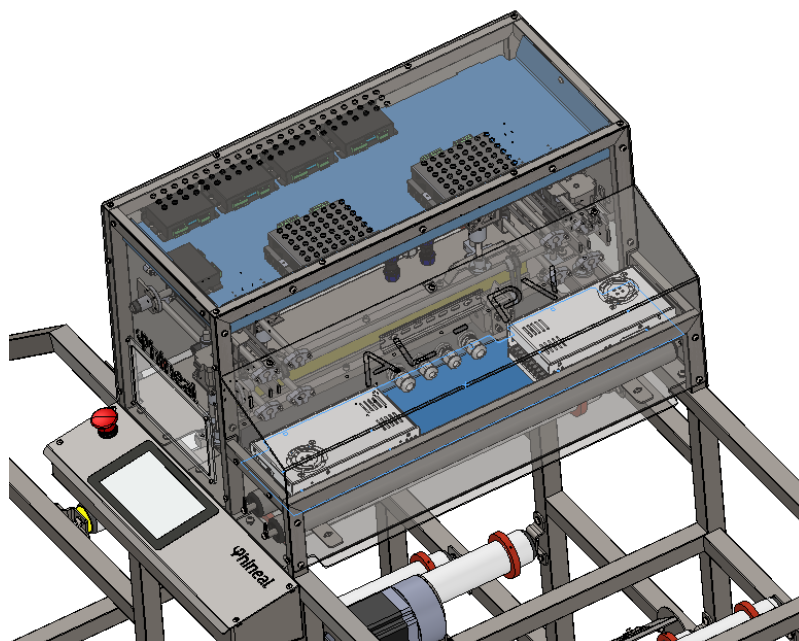


FIGURA 48: POSICIONES DE SISTEMAS DE CONTROL

Además se diseñó la zona de control de la máquina que alberga el HMI (Human Machine Interface). Para ello se diseñó un espacio para albergar una pantalla táctil que sirve para controlar los diferentes modos de funcionamiento de la máquina así como el espacio para la necesaria seta de emergencia en una posición de fácil acceso.

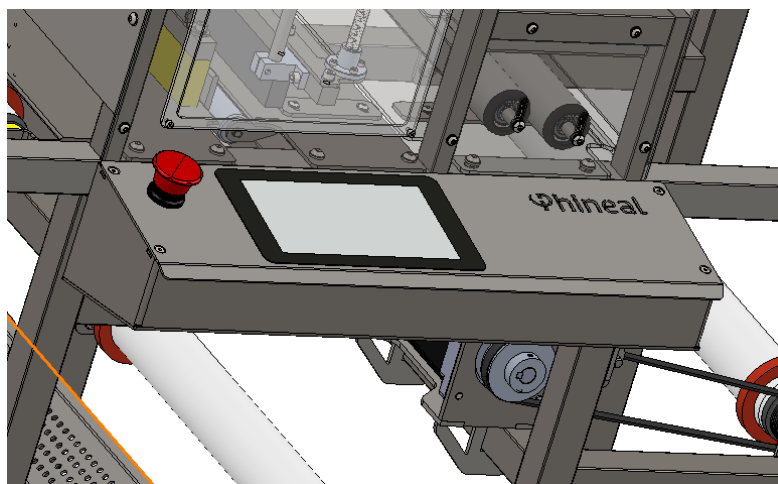


FIGURA 49: ELEMENTOS PARA ALBERGAR HMI Y SETA DE EMERGENCIA

3.7 Información adicional

3.7.1 Presupuesto

El presupuesto se divide en dos partes, compras realizadas en europa y compras realizadas en chile. Este es un presupuesto de los elementos estructurales y de funcionamiento de la máquina.

Una serie de compras se realizaron en Europa antes de realizar el viaje a Chile. Se trata de elementos más técnicos, como soportes específicos, cojinetes o motores y sus componentes.

Precio materiales comprados en Europa							
Producto	Precio producto	Precio envío	Precio total	Precio cantidad	Cantidad	Origen	Fecha entrega
Motor Nema 23 10mm	35,69 €	11,20 €	46,89 €		1	Alemania	2 oct-3 oct
Polea GT2 32T			- €			Makers hut	
Polea loca GT2 20T	11,62 €		34,86 €		3	UK	3 oct-10 oct
Cojinete corto LM10UU	2,49 €	9,00 €	18,96 €		4	España	28 sept - 29 sept
Cojinete corto LM10UU	3,45 €	7,00 €	13,90 €		2	España	27-sept
Cojinete corto LM10UU	2,99 €	0,75 €	6,73 €		2	España	29 sept - 3 oct
Cojinete largo LM10LUU	3,50 €	4,50 €	18,50 €		4	Alemania	28 sept - 30 sept
Cojinete largo LM10LUU	8,10 €	3,99 €	20,19 €	4,3	2	Alemania	28 sept - 30 sept
Soporte SK10	1,86 €	2,26 €	13,42 €	7,37	6	UK	4 oct - 6 oct
Copla motor 5x10	4,51 €	4,85 €	27,40 €		5	UK	4 oct - 6 oct
SMR126 2Z	1,85 €	5,78 €	42,78 €		20	España	29 sept - 3 oct
SMR126 2Z	3,10 €	3,90 €	65,90 €		20	Alemania	28 sept - 30 sept
Piñon ISO08B-1 24Z - 14mm			- €			Chile	
soporte SHF10	9,48 €		37,92 €		4	UK	4 oct - 6 oct
Micro sensor final de carrera	2,50 €	1,00 €	11,00 €		4	España	28 sept - 2 oct
Motor Nema 34	46,93 €	12,99 €	59,92 €		1		06-oct
Motor Nema 17	9,89 €	0,99 €	70,22 €		7		4 oct - 10 oct
Motor Nema 17	14,80 €	- €	103,60 €		7	España	29 sept - 3 oct
Conectores SP17 7 pines	6,67 €	4,00 €	50,69 €		7	UK	4 oct - 6 oct
Driver Nema 23 5A	22,50 €	7,00 €	29,50 €		1		28 sept - 30 sept
Driver Nema 17 2A	22,38 €	9,00 €	120,90 €		5		06-oct
TOTAL			793,28 €				

TABLA 2: COMPRAS REALIZADAS EN EUROPA

El excel de control de las compras realizadas en Chile es excesivamente grande como para incluirlo en este documento. Se incluirá en el CD que viene incluido con el proyecto.

Se incluyen en ese excel todo el material que se compró para la realización del montaje del prototipo, incluyendo las compras que se realizaron en Europa.

A el precio total de la compra de materiales falta añadirle el precio de los billetes del viaje a chile y el precio del alquiler del taller donde se realizó el montaje del prototipo. El precio final fue de:

- Materiales: 1705,95 €
- Viaje a Chile: 1500 €
- Alquiler del taller: 625 €
- Corte láser y doblado piezas chapa: 600 €
- Estimación de horas de taller: 320 h
- Estimación de horas de diseño: 550 h
- Estimación de horas de recopilación de datos: 150h
- Estimación de costo/hora trabajo de diseño: 40€/h

- Estimación de costo/hora trabajo de taller: 25€/h
- Estimación de costo/hora trabajo de recopilación de datos: 15€/h
- Total de coste de personal estimado: 32250 €
- **TOTAL: 36680,95 €**

Hay que recordar que se trata de la fabricación del primer prototipo, el coste de la máquina completa una vez se defina en su totalidad será menor.

3.7.2 Requerimientos para el montaje del prototipo

En este apartado se incluye una serie de herramientas y elementos que fueron necesarios para el montaje del prototipo.

- Una Impresora 3D BQ Hephestos 2 (que estuvo en funcionamiento desde septiembre de 2017).
- Una Impresora BQ Witbox 2 (en funcionamiento desde 12 de octubre de 2017 en Chile).
- Soldadora MIG Miller.
- Cortadora angular.
- Tronzadora de metal.
- Pintura electroestática (y cabina de pintura en taller).
- Remachadora de tuercas.
- Torno (fabricación de poleas).
- Taladro de pedestal.
- Estación de lavado de metales.

Las impresoras 3D eran propiedad de la empresa Phineal. La Hephestos 2 se trajo a España y se mantuvo en funcionamiento desde fases iniciales del proceso de diseño. Esta impresora se trasladó a Chile para realizar el montaje del prototipo y en Santiago de Chile se utilizó además la impresora Witbox 2 para agilizar el proceso de fabricación de piezas 3D.

El resto de maquinaria necesaria para la fabricación del prototipo se utilizó en el taller de montaje en Chile. La estación de lavado de metales consistía en una serie de depósitos de manera que a los metales, previo a su entrada a pintura, se les hacía el paso por cada uno de ellos en orden: desengrasante, para limpiar bien el material; ácido para acabar de limpiar el material; lavado de agua para eliminar el ácido y fosfatado para generar microporosidades y facilitar el pintado. Después de esta secuencia se le pasaba una llama brevemente a lo largo de todo el material para su secado.

3.7.3 Impacto medioambiental

La máquina de este proyecto usa materiales que producen un impacto medioambiental mínimo, ya que los materiales que usa, como el acero 235, el Políácido láctico PLA, y la electrónica incorporada no generan ningún residuo al medio ambiente significativo. Además se trata de un primer prototipo, por lo que no habrá siquiera problemas derivados

de la fabricación en serie de la máquina. El producto final al ser de base papel de aluminio es también reciclable.

En base a la fabricación del prototipo podemos concluir que el impacto ambiental no es significativo, ni para la construcción de prototipos ni para la construcción de varias máquinas para trabajar con ellas a nivel industrial.

3.8 La máquina 2.0

Después del ensamblado de la máquina, se iniciaron las pruebas del prototipo, encontrando algunos fallos. No solo se hizo una recopilación de estos fallos sino que además se diseñaron soluciones para cada uno y se pusieron en práctica. No hubo cambios en el sistema de codificación para dar nombre a las diferentes piezas y conjuntos creados y estos nuevos diseños se incorporaron o sustituyeron en el prototipo diseñado originalmente. En este proyecto para diferenciar con facilidad diseños nos referiremos al prototipo entero como Máquina 1.0 o Prototipo-1 para el montaje que se realizó en octubre de 2017 y como Máquina 2.0 o Prototipo-2 a las modificaciones que se le hicieron después.

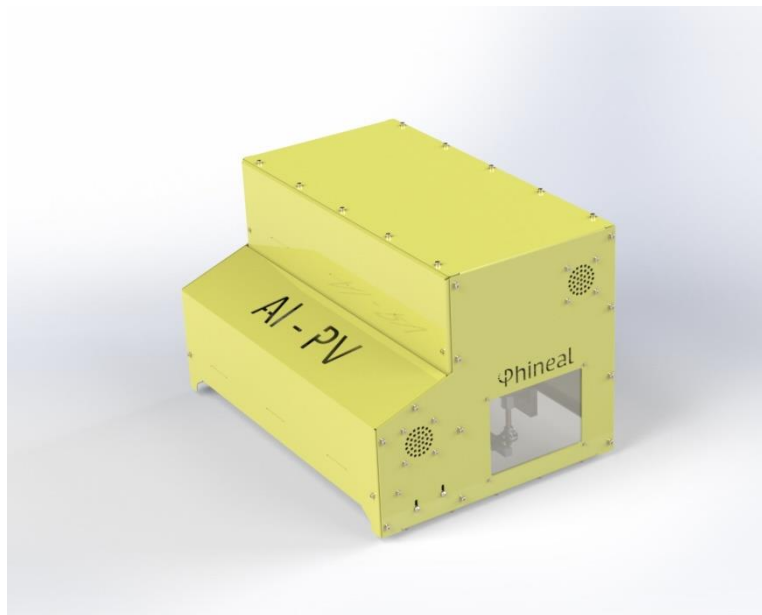


FIGURA 50: RENDERIZADO DEL CONJUNTO SUPERIOR, PROTOTIPO-2

A continuación enumeramos los diferentes errores y soluciones que se realizaron para el montaje del Prototipo-2: (AGREGAR FOTOS)

1. Los ejes de funcionamiento radial, que sostenían las poleas fijas, se pandeaban debido a la distancia entre los soportes, además que se instalaron erróneamente rodamientos axiales para su funcionamiento, lo que provocaba que al momento de girar el eje, este se desplazaba longitudinalmente, provocando un desalineamiento de las correas y poleas.

Solución: Se diseña un nuevo soporte único con rodamiento radial y adicionalmente se añade un nuevo soporte central, de manera que se evite la excesiva flexión del eje y el descuadre en ejes y poleas que este generaba.

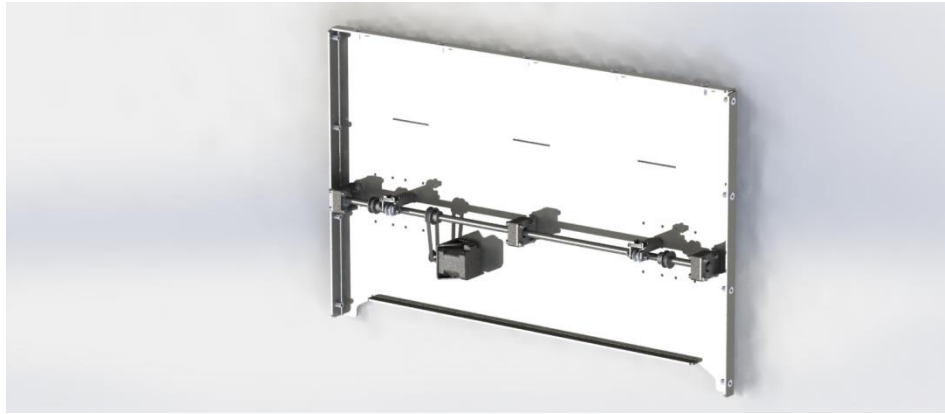


FIGURA 51: ELEMENTO DE SOPORTE ADICIONAL EN EL MEDIO DEL EJE POLEAS

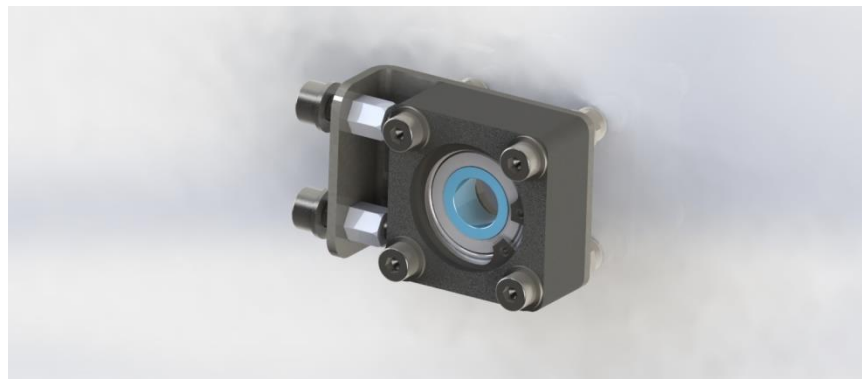


FIGURA 52: NUEVO SOPORTE Y COJINETE PARA EJE POLEAS

2. La estructuración del conjunto superior se planteó con un chasis (los perfiles de 25x15 mm) y tapas, lo que provocaba que pequeñas desviaciones en la fabricación (± 1 mm) supusiesen una gran dificultad en el montaje de las tapas. Además al contar con piezas soldadas, impedía el recambio parcial, por lo que era necesario cambiar todo un conjunto incluso cuando lo que había que cambiar era algo muy pequeño.

Solución: se plantea una estructura a base de placas dobladas con uniones de pernos y a través de tuercas remachables hexagonales. De esta manera se puede tener un ensamblaje rápido, más barato y de fácil recambio. Además, el hecho de agregar las tuercas remachables hexagonales impide que se giren a diferencia de las tuercas remachables redondas moleteadas, que con el uso y/o sobre apriete de ellas mismas, terminan por ceder y dejan de cumplir su función.

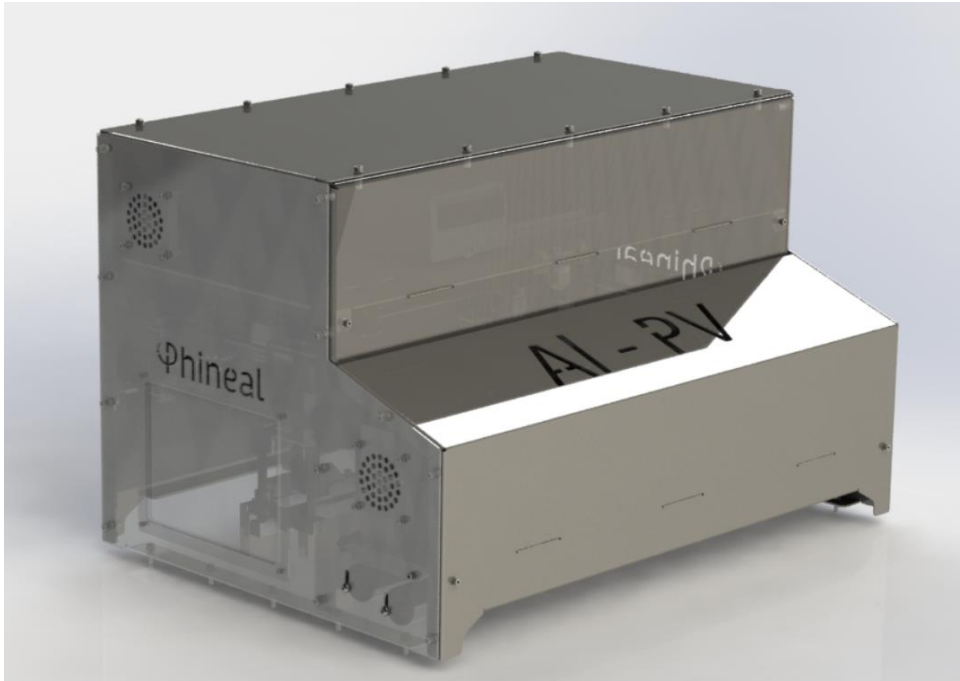


FIGURA 53: CONJUNTO SUPERIOR SIN ESTRUCTURA DE PERFILES

3. Las placas de la mesa de desplazamiento del papel se pandeaban debido a su longitud entre los soportes, lo que provocaba que en el centro la cama el papel no hiciese contacto. Esto suponía que los pliegues no se realizaban correctamente.

Solución: diseñar las mismas placas, pero añadiendo pliegues a 90 grados, con el fin de dar rigidez estructural, manteniendo el mismo espesor de la chapa.

4. Las barras de acero que se utilizaban originalmente para atornillar las matrices dieron problemas debido al material con el que se fabricaron. Lo que provocaban era que el peso de dicha barra hacía que el motor funcionase a una corriente mayor debido al esfuerzo que tenía que realizar.

Solución: Cambiar la barra por DURALUMINIO, de esta manera alivianamos el sistema de plegado y aumentamos la eficiencia de consumo eléctrico de los motores.

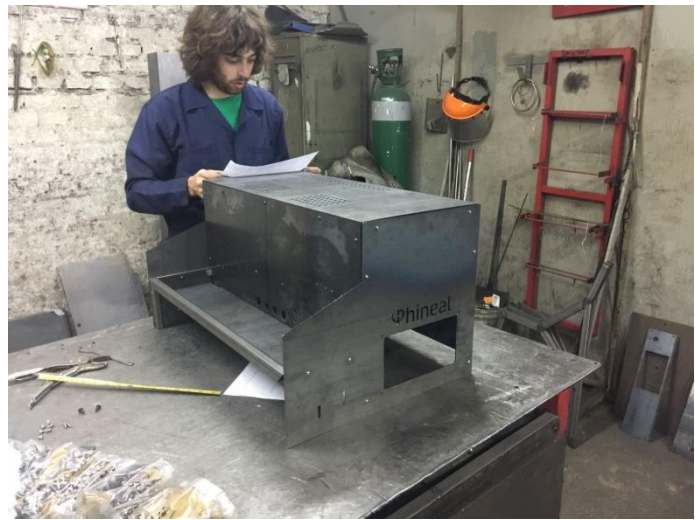
5. Las correas de los motores NEMA destinados a la tensión y freno de los rodillos quedaban grandes o muy pequeñas. Esto era debido a que, al momento de diseñar los tensores, se tomó en cuenta un catálogo europeo que contiene una mayor variedad de correas Poly-V, cosa diferente en el mercado Chileno, ya que no se encontraban todas las longitudes disponibles.

SOLUCION: Diseñar un soporte más largo, que permite la utilización de las correas más largas.

4 Conclusiones

Prácticamente todo el proceso, tanto de diseño de la máquina como de montaje de la misma, se llevó a cabo de manera satisfactoria dentro del espacio de tiempo previsto en el verano de 2017. Con previsión se plantearon unas metas temporales que permitían un amplio margen de maniobra en caso de que apareciesen imprevistos.

El proceso desde el diseño hasta el montaje del primer prototipo con fecha límite el día 5 de noviembre de 2017, parte principal objeto de este proyecto, se completó sin ningún tipo de retraso. Hubo retrasos dentro de la planificación interna, en especial con el tema de compra de materiales y el envío a corte láser de las piezas de chapa pero estos retrasos se absorbieron dentro del margen del que se disponía.



FIGURAS 54 Y 55: PABLO Y CAMILO TRABAJANDO SOBRE ESTRUCTURA CONJUNTO SUPERIOR

El mayor retraso que hubo realmente fue de cara a poner en funcionamiento final la máquina en el campo de programación eléctrica y de control, que no era objeto de este proyecto.

El proyecto planteado desde la idea inicial terminaría después del montaje del prototipo, considerando que se presentaría apoyo a los ingenieros de la empresa Phineal con los fallos que se encontrasen en el mismo. No solo se realizó un análisis completo de los diferentes errores que se cometieron en el diseño del primer prototipo, sino que en este apoyo se modificaron las piezas y sistemas que dieron problemas y además se diseñó una optimización general del prototipo en especial en cuestión estructural.



FIGURA 556: FOTO CON PROTOTIPO-1 TERMINADO

Cumpliendo además por encima de las responsabilidades iniciales, se realizó un segundo viaje a Chile donde se prestó apoyo directo a los ingenieros de Phineal, se supervisó el montaje de todas las modificaciones de la máquina 2.0 y se confirmó su correcto funcionamiento. En este viaje también se pudo supervisar las pruebas iniciales de control de la secuencia de doblado.

La máquina cumple con la finalidad que se le dió, verificando esto por medio de pruebas in situ de la secuencia de control y verificando que se produce el correcto doblado del papel de aluminio aleado.

Cabe decir que este proyecto fue supervisado y validado en todo momento durante las diferentes etapas de diseño y montaje tanto por la empresa Phineal como por la agencia Corfo del gobierno de Chile.



FIGURA 567: RENDERIZADO DEL PROCESO DE DOBLADO

El proyecto termina aquí ya que se cumplieron todos los objetivos, aunque el trabajo sobre la máquina aún queda abierto a futuras modificaciones. El enfoque prioritario que se le dio a este proyecto desde el principio era el conseguir diseñar y montar un prototipo que consiguiese cumplir la funcionalidad de fabricar el disipador aleteado.

Ahora que el prototipo está validado y se puede realizar la secuencia de doblado sin problema se puede hacer un nuevo estudio o proyecto centrado en la optimización del diseño de cara a la producción en serie de esta máquina, con enfoques centrados en la optimización de la velocidad de producción del disipador, simplificación de los subsistemas móviles de doblado (incluyendo un posible diseño que permita un movimiento circular de las matrices) u optimización del sistema estructural de la máquina.

5 Bibliografía

Anejo: Prontuario básico de estructuras simples. Disponible en <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25612/1/Estructuras%20Met%C3%A1licas%20-%20Material%20apoyo.pdf> (agosto 2017).

Fierros del Tajo, Catálogo de productos. Disponible en <http://www.fierrosdeltajo.com/ficheros/catalogo.pdf> (septiembre 2017).

Provimetel, Corte láser. Disponible en <http://www.provimetal.cl/corte-laser.php> (octubre 2017).

Youtube, ANSYS Workbench Tutorial - Introduction to Static Structural. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=vnpg5zzOS48> (septiembre 2017).

Youtube, ANSYS Workbench Tutorial - Simply Supported Beam - Center Load - PART 2. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=XECmd-BPKa8> (septiembre 2017).

Catálogo Miniature Rail Carriages. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo Steel Lead Screws. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo Flanged Bronze Nuts. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo Left Hand Flanged Ball Nuts. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo Quadro Carriages. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo Shaft End Supports. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo Flanged Linear Ball Bushings. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo 6Ø Stainless AISI 303 Shafts. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Manual Fabory. Disponible en www.fabory.com (agosto 2017).

Catálogo interroll 1700. Disponible en <https://www.interroll.es/productos/rodillos-transportadores/rodillos/rodillo-transportador-universal-serie-1700/> (septiembre 2017).

Catálogo Double Flange Timing Pulleys. Disponible en: automotioncomponents.co.uk (agosto 2017).

Catálogo interroll 1100 marcha suave. Disponible en: https://www.interroll.us/fileadmin/products/es-US/Resources_pdf_342530315.pdf (septiembre 2017).

Catálogo stepper motors, Schneider Electric. Disponible en <https://www.schneider-electric.com/en/product-subcategory/2955-steppers-drives-and-motors/> (septiembre 2017).

Manual avanzado Solidworks 2016. Disponible en <https://lisandroingmec.files.wordpress.com/2013/08/35569944-solid-works-nivel-ii-manual.pdf> (julio 2017).